Dr MIROSLAVA UNKAŠEVIĆ

KLIMA BEOGRADA

Naučna Knjiga
BEOGRAD, 1994.

Dr Miroslava Unkašević
KLIMA BEOGRADA

Izdavač
IP „Naučna knjiga"
Beograd, Uzun-Mirkova 5

U troškovima izdavanja ove monografije učestvovalo je i Ministarstvo za nauku i tehnologiju SR Srbije

Recenzenti
Dr Đuro Radinović
Dr Mladen Ćurić

Za izdavača
glavni i odgovorni urednik
Dr Blažo Perović

Tehnički urednik
Miloje Drinjaković

Tiraž 500 primeraka

ISBN 86-23-21126-X

Štampa
„GRAFOKOMERC", Beograd, Cerska 53

SADRŽAJ

PREDGOVOR

Uzajamna povezanost klime, zagadjenosti vazduha i gradskog planiranja su odavno poznati. Njihovo proučavanje je dovelo do formiranja posebne discipline u okviru klimatologije poznate pod nazivom "gradska klima".

Navodno je Seneka, rimski filozof iz prvog veka pre naše ere, primetio da se daleko bolje osećao svaki put kada je odlazio iz toplog, vlažnog i zagadjenog vazduha antičkog Rima.

Proučavanje gradske klime dobija sve veći značaj jer većina ljudi u svetu živi u gradovima. Tako postoje mnogi dokazi da gradska sredina značajno doprinosi bolestima, naročito respiratornih organa kao i smrtnosti ljudi. Stoga je osnovni cilj ove Monografije proučavanje uticaja grada na meteorološke elemente kao što su temperatura i vlažnost vazduha, atmosferske padavine i vetar, kome je posvećen veći deo Monografije. Osim toga, date su i osnovne karakteristike atmosferskog pritiska, temperature zemljišta, osunčavanja i oblačnosti kao i pojave suše u Beogradu, koja poslednjih godina nanosi velike štete gradskoj privredi. Zadnje poglavlje Monografije posvećeno je ispitivanju zagadjenosti gradskog područja zbog naglog širenja grada, tj. povećanja industrijalizacije i saobraćaja.

Monografija "Klima Beograda" namenjena je pre svega meteorolozima, tj. onima koji se bave proučavanjem gradske klime kao i inžinjerima agronomije, gradjevinarstva, arhitekture i šumarstva koji se bave prostornim planiranjem i uredjenjem grada, kao i stručnjacima koji su zainteresovani za probleme modifikacije klime zbog antropogenog faktora.

Želim da zahvalim profesorima Djuri Radinoviću i Mladjenu Ćuriću, koji su svojim primedbama pomogli da se tekst prečisti od nejasnoća i grešaka. Isto tako zahvalnost dugujem i mr Nataliji Janc, stručnom saradniku Meteorološke opservatorije u Beogradu, koja je pomogla pri sredjivanju i obradi podataka o padavinama u beogradskoj mreži stanica.

Svakako, Monografija nije mogla obuhvatiti sve aspekte gradske klime, kao što je problem zračenja, zbog nedostataka dovoljnog niza podataka,pa će dopune u budućnosti u tom smislu biti potrebne.

REZIME

Monografija "Klima Beograda" sadrži ispitivanja uticaja grada na sledeće klimatološke elemente:

- temperaturu vazduha (obrazovanje ostrva toplote u centru grada),
- vlažnost vazduha,
- atmosferske padavine,
- vetar,
- zagadjenost gradskog područja i s tim u vezi stanje zamućenosti atmosfere u gradu.

Takodje su date i osnovne karakteristike atmosferskog pritiska, temperature zemljišta, osunčavanja i oblačnosti, kao i pojave suše u Beogradu, koja u poslednjih deset godina nanosi velike gubitke privredi u gradu.

Zagrevanje grada kao posledica industrijske aktivnosti, rada toplana i saobraćaja dovelo je do formiranja gradskog ostrva toplote, koje je jedno od najvažnijih odlika gradske klime. To znači da centralni delovi grada imaju veće minimalne temperature od okoline za 2 do 3 °C. Ispitivanje veze srednje godišnje minimalne temperature vazduha sa logaritmom populacije pokazuje jaku linearnu zavisnost.

Statistička analiza relativne vlažnosti u Beogradu pokazuje da relativna vlažnost opada u odnosu na seosku sredinu počev od 1970. godine, naročito u zimskim mesecima, dok promena pritiska vodene pare nije uočljiva.

Medjutim, srednje godišnje količine padavina u samom gradu veće su za oko 17% od onih izmerenih u seoskim sredinama, što je verovatno uslovljeno povećanim zagrevanjem gradske atmosfere i obilnim snabdevanjem jezgrima kondenzacije zbog povećane aerosolne zagadjenosti.

Promena pravca vetra u gradu zavisi od doba dana i vetra u okolini. Po razlikama u vrednosti parametra, koji odredjuje skretanje vetra kada su istovremeni pravci na Meteorološkoj opservatoriji u Beogradu i Surčinu (aerodrom) u intervalu ± 30 °, nagoveštava se karakteristična šema skretanja pravca vetra u gradu u odnosu na okolinu.

Košava, koja je za Beograd vetar sa najvećom čestinom, u mnogome doprinosi poboljšanju kvaliteta vazduha, jer u grejnoj sezoni dnevne koncentracije SO_2 i dima mogu nekoliko puta da premaše dozvoljene granice. Osim SO_2 i dima u atmosferi iznad Beograda mogu da se nadju i druge zagadjujuće materije pa se stanju zagadjenosti mora posvećivati sve veća pažnja zbog njegovog primarnog uticaja na izmenu gradske (lokalne) klime i pogoršanja zdravlja ljudi.

1.UVOD

Gradska klima je primer lokalne modifikacije vremena koja je nastala delatnošću ljudi. Meteorološka i fizičko-hemijska merenja u mnogim svetskim urbanim centrima ukazuju da je zbog uticaja urbanizacije došlo do promene lokalnih i mikroklimatskih uslova u gradovima u odnosu na njihovu okolinu, što se naročito ogleda u poslednjih 30 do 50 godina. Ove promene uslovljavaju:

- poremećena prirodna ravnoteža zračenja jer je vegetacija zamenjena visokim površinama sagradjenih od betona i cigli;
- visoke gradjevine koje su prepreke vetru pa menjaju prirodno strujanje i turbulenciju vazduha;
- poremećena ravnoteža vodene pare, jer su relativno vlažne površine zamenjene suvim, i
- emisija toplote, vodene pare i zagadjujućih materija iz gradskih izvora u atmosferu.

Postoje brojne značajne interakcije izmedju nabrojanih fizičkih mehanizama, uzročnika promene klime u gradu. Tako, na primer, atmosfersko zagadjenje utiče na ravnotežu zračenja i režim temperature u gradu.

Postoje tri pristupa za proučavanje gradske klime. To su:

1) Poredjenje podataka osmatranja gradskih i seoskih klimatoloških stanica, što je korišćeno u Monografiji "Klima Beograda", kada se raspolaže sa odgovarajućim nizovima podataka (dužim od 20 godina).
2) Analiza višegodišnjih nizova gradskih klimatoloških podataka radi utvrdjivanja uticaja porasta industrijalizacije i populacije.
3) Poredjenje gradskih srednjih klimatoloških podataka dobijenih nedeljom i preostalih dana u sedmici, jer su nedeljom komercijalne i industrijske aktivnosti minimalne.

Medjutim, primena ovih metoda nailazi na niz teškoća. Tako, ne postoje dovoljno dugi nizovi osmatranja klimatoloških gradskih i seoskih stanica da bi se mogli uporediti. Osim toga, ispitivanje gradske klime je često otežano postojanjem specijalnih orografskih karakteristika kao što su doline, velike reke, jezera i planine, pa je veoma teško izolovati gradske od drugih uticaja.

Postoji više razloga za proučavanje klime Beograda. Najvažniji od njih su:

- dužina osmatranja u Meteorološkoj opservatoriji u Beogradu od preko 100 godina;
- dužina osmatranja u klimatološkoj mreži stanica koja pokriva šire područje Beograda od preko 20 godina;
- naglo širenje grada sa izgradnjom velikih naselja i industrijskih zona;

- brzo povećanje populacije i sobraćaja.

U Monografiji "Klima Beograda" poredjenjem podataka stanica u gradu i na selu ispitivan je uticaj grada na sledeće klimatološke elemente:

- temperaturu vazduha (stvaranje ostrva toplote);
- vlažnost vazduha;
- atmosferske padavine;
- vetar;
- zagadjenost gradskog područja (stanje zamućenosti atmosfere u gradu).

Sposobnost grada da akumulira toplotu, kao i oslobadjanje energije u gradu procesima sagorevanja, su glavni činioci koji odredjuju temperaturu u gradu. Naime, zbog relativno velikog toplotnog kapaciteta trotoara i betonskih zgrada dnevna akumulacija toplote je veća u odnosu na polja sa travnatim pokrivačem. Noću se ova akumulirana dnevna toplota emituje, što ima za posledicu višu minimalnu temperaturu u gradu nego na selu. Razlike u temperaturi izmedju grada i sela su maksimalne zimi kada su potrebe za grejanjem u gradu povećane, posebno kada je u predgradju sneg, dok ga u centru grada nema.

Navedene činjenice utiču na stvaranje gradskog ostrva toplote koje je najizrazitije noću pri vedrom nebu i slabim vetrovima. U odnosu na minimalne temperature ostrvo toplote je izraženije u toku letnjih nego zimskih meseci sa intenzitetom koji se smanjuje idući od letnjih ka zimskim mesecima. Tako, centralni delovi grada imaju veće minimalne temperature od okoline za 2 do 3 °C, što u odnosu na srednje temperature iznosi 1 do 2 °C. Koristan uticaj noćnog ostrva toplote u gradu bio bi produženje perioda bez mraza tokom jedne godine.

Čak, iako ne postoje razlike u temperaturi, ima se osećaj da je centar grada topliji od sela zbog transfera toplote zračenjem zgrada i slabijih vetrova. Značajan je uticaj veličine grada na inenzitet ostrva toplote. Tako je Oke (1974.) našao dobru korelaciju izmedju povećanja populacije i veličine zagrevanja grada.

Izgleda da je grad prava kolekcija različitih mikroklima (Chandler, 1967.), jer karakter urbanizovanih površina, koje neposredno okružuju klimatološku stanicu, može biti važniji od veličine ili oblika grada. Nagla promena temperature na ivici gradskog ostrva toplote govori u prilog ovom mišljenju. Pojava gradskog ostrva toplote utiče na relativnu vlažnost, vetar i stanje zagadjenosti u gradu.

Na gradskim površinama su prirodni izvori isparavanja i transpiracije većinom uklonjeni. Stoga je sadržaj vodene pare u gradskom vazduhu manji leti nego u okolini. Zimi je situacija često suprotna zbog emisije vodene pare u procesima sagorevanja. Tako, relativna vlažnost u gradu opada, naročito u zimskim mesecima, što se može dovesti u vezu sa porastom minimalnih temperatura u gradu. Takodje, postoje nagoveštaji da je pritisak vodene pare u noćnim satima često veći u gradu nego u okolini.

Srednje godišnje količine padavina u gradu su često veće za 17% od onih izmerenih u seoskim sredinama iste nadmorske visine, što se može dovesti u vezu sa obilnim snabdevanjem jezgrima kondenzacije i povećanom konvekcijom u gradskoj atmosferi.

U toku perioda bez vetra gradsko ostrvo toplote prouzrokuje cirkulacionu ćeliju tako da vazduh u prizemlju struji iz okoline ka centru grada. Iako postoji izraženo strujanje iznad vrhova krovova, zgrade često blokiraju strujanje vazduha u prizemlju grada.

Zbog lokalnih uticaja reljefa, cirkulacija u gradu nije nikad jednostavna. Tako, analizirajući časovne vrednosti vetra u gradu i okolini (obično je to najbliži aerodrom) uočava se da promena pravca vetra u gradu u odnosu na okolinu zavisi od doba dana i brzine vetra u okolini.

Jaki vetrovi su značajni pri izgradnji visokih zgrada, ali dinamički uticaji mogu biti važniji od statičkog pritiska. Veoma malo informacija imamo o ubrzanjima koja su posledica jakih udara vetra ili o rezonanci vetra sa prirodnim periodom vibracije zgrada (obično je manji od jednog minuta). Stoga, merenje profila jakog vetra kao i spektra turbulencije u urbanizovanim delovima grada ima značajnu ekonomsku vrednost.

U delovima grada gde postoje veliki parkovi, drveće i lišće redukuju brzinu vetra. Tako je zapaženo da postoji velika sezonska promena brzine vetra zbog opadanja lišća. Za stare parkove sa zastupljenim listopadnim drvećem, povećanje brzine vetra od leta ka zimi može da bude i do 4%.

Drveće i žive ograde imaju blagotvorno dejstvo, jer pročišćavaju gradski vazduh koji je svakim danom sve zagadjeniji. Toplane, industrijska postrojenja, motori automobila sa unutrašnjim sagorevanjem, avioni i td. ubacuju u prizemni sloj atmosfere zagadjujuće materije, koje veoma štetno utiču na zdravlje ljudi. Tako, pri veoma toplom vremenu i gustom saobraćaju može u gradu doći do obrazovanja tzv. fotohemijskog smoga. Takodje, zimi u odsustvu jakih vetrova pri pojavi inverzije, štetne materije u vazduhu se nagomilavaju u tankom prizemnom sloju, pa njihova koncentracija može i nekoliko desetina puta da premaši dozvoljene granice. Ovako zagadjen vazduh utiče i na povećanje zamućenosti atmosfere u centru grada. Inače, zamućenost povećava koeficijent slabljenja Sunčevog zračenja jer povećava njegovo rasipanje i apsorpciju zbog postojanja znatne količine aerosola i prašine u atmosferi.

2. OSNOVNI PODACI

2.1. Fizičko-geografske karakteristike grada

Klimu Beograda karakteriše velika promenljivost meteoroloških elemenata uslovljena cirkulacijom vazdušnih masa koje se medjusobno razlikuju po fizičkim osobinama, jer je teritorija Beograda izložena brojnim prodorima polarnih i subtropskih vazdušnih masa.

Na klimu Beograda i njegovog područja značajan uticaj ima reljef. Reljef teritorije Beograda se odlikuje ravnicom na severu, prostranom Panonskom nizijom, i blago zatalasanim površinama severne Šumadije, koje se prostiru južno od Beograda. Na 50 km severno od Beograda dominira Fruška Gora, sa nadmorskom visinom od 539 m, dok su južno najviše tačke Avala sa 511 m i Kosmaj sa 628 m. Takodje, značajan uticaj imaju i dve velike reke, Sava i Dunav, sa svojim pritokama.

U samom Beogradu najviša tačka je kota Astronomske opservatorije sa 249 m. Najniže tačke su na obalama Dunava, kod Sportskog centra u podnožju Kalemegdana, na 75 m. Meteorološka Opservatorja u Beogradu nalazi se na nadmorskoj visini od 132 m iznad nivoa mora i njene geografske koordinate su $\varphi = 44° 48'$ N i $\lambda = 20° 28'$ E.

Uže područje Beograda, odnosno njegov urbani deo, obuhvata površinu od 36 km^2 dok je teritorija grada oko deset puta veća i iznosi oko 322 km^2.

Razvoj grada Beograda i njegova izgradnja donekle su uticali na izmenu terena na kome je podignuta Opservatorija. U toku svog dugog postojanja Opservatorija, koja je prilikom svog podizanja bila na periferiji ondašnjeg grada, danas se nalazi u najužem centru grada.

2.2. Istorija razvoja meteoroloških osmatranja i istraživanja

U Srbiji već vek i po postoji tradicija meteorološke nauke i merenja. Prvi doprinos u ovoj oblasti dao je Vladimir Jakšić (1824. - 1899.), profesor Liceja i osnivač statističkog odeljenja u Ministarstvu finansija. Profesor Vladimir Jakšić bio je odličan poznavalac kako meteorologije, tako i statistike i njene primene, sa čime se upoznao tokom svojih studija u Beču, Tibingenu i Hajdelbergu. Po povratku u Srbiju 1848. godine započinje u Beogradu redovna meteorološka merenja i osmatranja, koja je vršio do 1899. godine. Svojim istaživanjima nastojao je da objasni uticaj klime na zdravlje i aktivnost ljudi.

Da se tada u Srbiji išlo u korak sa vremenom svedoče i podaci da je to period osnivanja meteoroloških službi u svetu. Vladimir Jakšić osniva i dvadeset meteoroloških stanica koje su pored Beograda, bile postavljene još u Topčideru, Šapcu, Loznici, Ubu, Valjevu, Topoli, Nemenikućama, Požarevcu, Jagodini, Kragujevcu, Brusnici, Čačku, Užicu, Raškoj, Palanci, Karanovcu (Kraljevu), Kruševcu, Aleksincu, Majdanpeku i Aleksandrovcu.

Tako je u to vreme mala Kraljevina Srbija imala najgušću mrežu meteoroloških stanica na svetu, koja je radila po tadašnjim najsavremenijim standardima.

Meteorologija, kao priznata grana nauke, našla je potvrdu u Zakonu o izmenama i dopunama Velike škole u Beogradu, donesenom 1880. godine, kada je osnovana Katedra za astronomiju i meteorologiju. Na taj način je Velika škola, pored već razvijenih tehničkih nauka, omogućila studentima pristup novim aplikacijama matematike i fizike, a profesorima otvorila novo polje istraživačkog rada.

Milan Nedeljković (1857. - 1950.) se kao profesor astronomije i meteorologije našao za katedrom Velike škole 1886. godine. Na njegov predlog je 26. marta 1887. godine Ministarstvo prosvete i crkvenih dela donelo rešenje o osnivanju Astronomske i Meteorološke opservatorije. Na čelo ove naučne institucije postavljen je profesor Milan Nedeljković. Opservatorija je počela sa radom 13.jula 1887. godine u okviru Velike škole, a osnivanjem Univerziteta 1905. godine postaje Univerzitetski zavod. Merenja svih meteoroloških veličina vršena su prvobitno u 7 termina (4, 7, 10, 13, 16, 19 i 22 sata), da bi se od 1894. godine započelo sa satnim osmatranjima.

Odmah po osnivanju Opservatorije pristupa se obnavljanju mreže meteoroloških stanica u Kraljevini Srbiji. Tako se, od početnih dvanaest stanica koliko ih je bilo 1889. godine, njihov broj 1896. godine popeo na 78, a do kraja sledeće, 1897. godine, na 128 stanica.

Pored redovnog meteorološkog programa, u mreži stanica su zavedena i specijalna merenja, što je sve stvorilo podlogu za naučne studije koje su se ubrzo pojavile. Rad Opservatorije je bio priznat i zapažen kako u Evropi, tako i u Americi, što se vidi na osnovu prepiske, razmene stručnih publikacija i uzajamnih službenih poseta.

Značajan dogadjaj za dalji razvoj meteorologije u Srbiji bio je izbor dr Pavla Vujevića (1881. - 1966.) za docenta klimatologije na Filozofskom fakultetu u Beogradu. Dr Pavle Vujević je odmah po dolasku iz Beča u Beograd 1907. godine, započeo svoj naučni rad obradom i teorijskom analizom meteoroloških merenja, koja su u to vreme bila u mnogo čemu jedinstvena u svetu. Tako je beogradska Opservatorija putem naučnih radova dala veliki doprinos razvoju nove naučne discipline - mikroklimatologije. Akademik dr Pavle Vujević bio je i upravnik Meteorološke opservatorije od 1924. do 1947. godine.

U periodima prekida meteoroloških merenja i osmatranja (jul - decembar 1914. godine i oktobar - decembar 1919.godine), vrednosti srednjih mesečnih temperatura i mesečnih količina padavina interpolisane su prema podacima stanica Pančevo, Sremska Mitrovica i Indjija. Za vreme II svetskog rata postojao je prekid u homogenosti maksimalnih temperatura vazduha od 18. novembra

1941. godine do 31. marta 1943. godine. U ovom periodu temperature vazduha merene su Asmanovim aspiracionim termometrom. I pored ovih nevolja celokupan bogat i dragocen klimatološki materijal je sačuvan.

Širenjem i izgradnjom grada Beograda, Meteorološka opservatorija se specijalizovala za proučavanje urbane klimatologije. Još krajem 1952. godine postavljena je specijalna mreža od 16 klimatoloških i 28 padavinskih stanica u Beogradu i njegovoj bližoj okolini, u cilju proučavanja gradske klime i klime beogradskog regiona.

Današnja aktivnost Meteorološke opservatorije u Beogradu obuhvata obnavljanje, održavanje i rukovanje gradskom mrežom stanica, prikupljanje, kontrolu i obradu rezultata merenja i publikovanje podataka u godišnjaku "Meteorološka osmatranja u Beogradu", ispitivanje vekovnih varijacija klimatskih elemenata, ispitivanje uticaja grada na modifikaciju prizemnog polja osnovnih meteoroloških elemenata kao i specijalna merenja zagadjenosti vazduha i temperature asfalta na kolovozu. Na osnovu ovih podataka uradjen je niz naučnih i stručnih radova i elaborata.

2.3. Opšta karakteristika klime Beograda

Na osnovu 100 - godišnjeg niza merenja i osmatranja u Meteorološkoj opservatoriji u Beogradu, došlo se do zaključka da Beograd i njegova šira okolina imaju umereno kontinentalnu klimu. Ova klima čini prelaz izmedju klime koja vlada u Sredozemlju i na Jadranu i one koja vlada u oblasti Karpata.

Klima grada zavisi pre svega od makroprocesa u atmosferi. Pri sinoptičkim procesima koji uslovljavaju jak vetar, povećanu oblačnost, pljuskovite padavine, i uopšte, pri jako izraženim prodorima sa konvektivnim tipom vremena, lokalni uticaj je minimalan. Nasuprot tome, pri anticiklonalnom tipu vremena lokalni faktori dolaze do izražaja u modifikovanju meteoroloških elemenata, posebno u tankom sloju vazduha neposredno iznad naselja. Ovaj uticaj se najčešće ogleda u horizontalnoj raspodeli polja temperatura i padavina. Hladan i vlažan vazduh često prodire sa zapada i severozapada. Severni prodori preko Panonske nizije uslovljaju osetan pad temperature, dok prodori hladnog vazduha sa severoistoka iz oblasti Karpata u zimskom periodu godine uslovljavaju hladno, vetrovito i pretežno suvo vreme. Usled jačanja jugozapadnog visinskog strujanja iznad Balkanskog poluostrva, posebno u toku proleća i jeseni, u Beogradu i okolini se oseća tzv. fenski efekat koji uslovljava osetan porast temperature.

U svim godišnjim dobima često se pravilno pojavljuju hladni i topli periodi. Obilne padavine donose cikloni iz zapadnog Sredozemlja koji se premeštaju na severoistok preko Austrije i istočne Evrope ili na istok dolinom Save i Dunava, kao i lokalne letnje nepogode. Početkom maja javljaju se prodori vlažnog i hladnog vazduha; u maju i junu poznati su česti lokalni pljuskovi i grmljavine; krajem leta kraći ili duži sušni periodi, a krajem septembra i početkom oktobra javlja se pozno Miholjsko leto.

3. TEMPERATURA VAZDUHA

3.1. Metod analize

Tempertura vazduha je jedan od osnovnih klimatskih elemenata. Osnovni tip analize temperature vazduha se odnosi na proučavanje varijacije temperature kao funkcije vremena, a kada se podaci odnose na gradsku sredinu, onda na otkrivanje promena uslovljenih ljudskom aktivnošću (gradsko ostrvo toplote). Širi pregled analize temperature dat je kod Okea (1974., 1979.), Garstang i dr. (1975.) i Landsberga (1981.), koji je ispitivao strukturu ostrva toplote kao funkciju veličine i brzine širenja grada.

U narednim poglavljima data je analiza podataka o srednjoj godišnjoj temperaturi vazduha radi dva osnovna razloga. To su:

a) rekonstrukcije istorije ovog meteorološkog parametra, identifikacije trendova i njihovog poredjenja sa drugim evropskim gradovima, i

b) procene uticaja širenja grada na trendove temperature.

Posebno je, posle kraćeg opisa korišćenog niza podataka, data statistička analiza niza kako bi se pokazalo da se trendovi minimalne temperature razlikuju od trendova srednje i maksimale temperature. U analizi trenda korišćeni su numerički filteri male propustljivosti koji potvrdjuju ovu različitost ustanovljenu i analizom podataka temperature drugih gradova. Zatim je uradjena analiza uticaja gradskog ostrva toplote (Oke, 1974, 1979; Garstang i dr., 1975; Landsberg, 1981; Colacino i Lavagnini, 1982) da bi se primenom jednostavnog modela korelacije obezbedilo zadovoljavajuće objašnjenje trenda minimalne temperature.

3.2. Korišćeni podaci

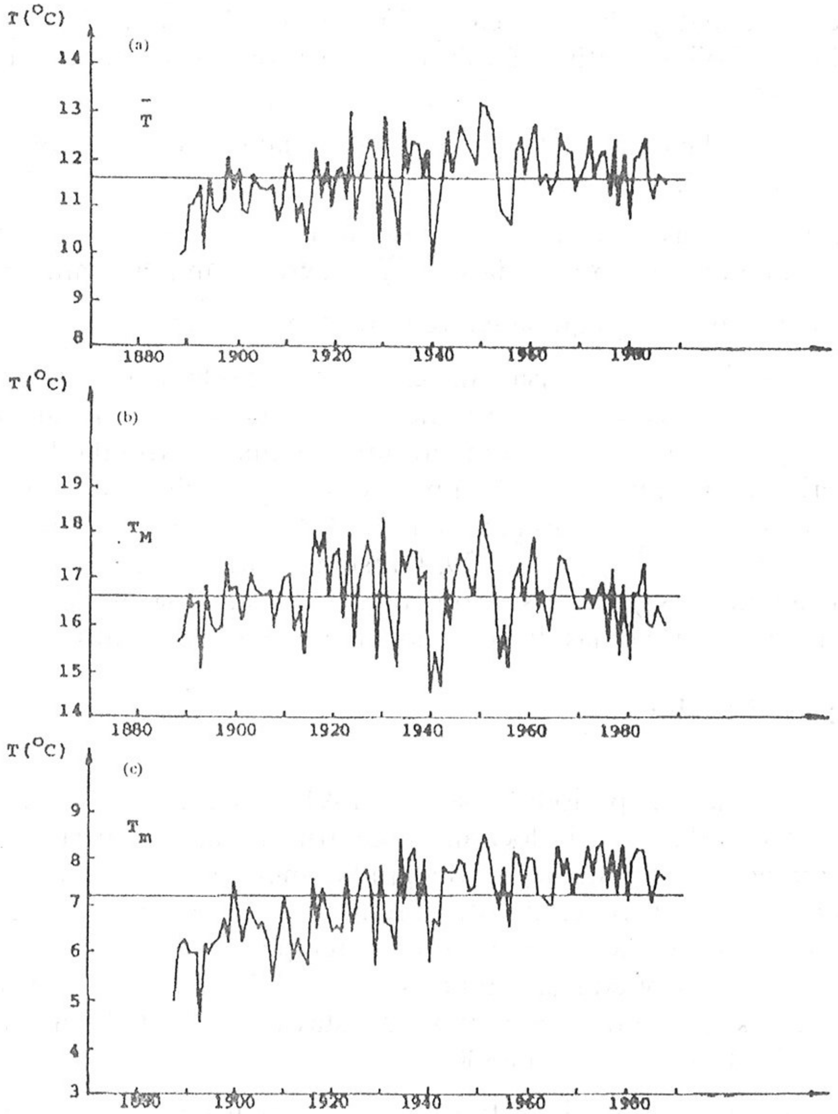
Analizirani podaci u periodu 1888. - 1991. godine na Meteorološkoj opservatoriji u Beogradu, koja je locirana u centru grada, tipični su za gradsku situaciju. Na meteorološkoj stanici u Beogradu, merenja svih temperatura se izvode u 7, 14 i 21 sat. Ove vrednosti odredjuju srednje dnevne temperature vazduha od kojih su dobijene srednje mesečne temperature i korišćene u daljoj analizi. Za svaku srednju vrednost temperature vazduha računata je standardna devijacija radi verifikacije podataka prema jednostavnom statističkom kriterijumu raspodela (tj. tablice t - raspodele za n>30).

Da bi se primenili statistički testovi na vremenske serije potrebno je poznavanje tipa raspodele čestina. Stoga su srednje, maksimalne i minimalne temperature vazduha testirane koristeći Fisherovu statistiku za normalnu raspodelu. Pokazano je da srednje, maksimalne i minimalne godišnje temperature vazduha u Beogradu zadovoljavaju ovaj kriterijum.

Takodje je uradjen i test homogenosti kako bi se odstranile instrumentalne i druge greške.

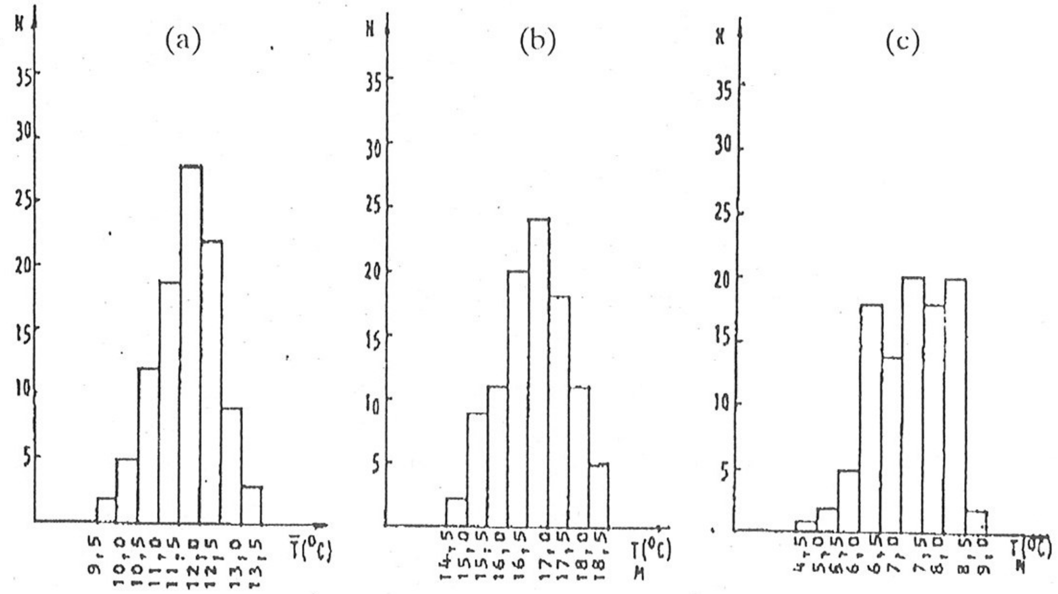
3.3. Statistička analiza podataka

Srednje godišnje temperature vazduha pretstavljene su na sl.1 (Rezultati osmatranja Meteorološke opservatorije u Beogradu u periodu 1887. - 1986. godine). Dijagrami na slici pokazuju trendove ovih srednjih vrednosti u Beogradu.



Slika 1. Trendovi srednjih ($\overline{T}$), maksimalnih (T_M) i minimalnih (T_m) temperatura vazduha u Beogradu

Ovde je $\overline{T}$ srednja godišnja temperatura vazduha dobijena iz srednjih mesečnih temperatura. Srednje godišnje minimalne i maksimalne temperature označene su sa T_m i T_M. Srednja godišnja temperatura za ceo posmatrani period je 11,6 °C. U toku perioda 1888. - 1915. godine srednje godišnje vrednosti bile su generalno ispod ove vrednosti, zatim pokazuju tendenciju porasta i temperatura fluktuira više ili manje oko srednje vrednosti. Na sl.2(a) data je raspodela čestina srednjih godišnjih temperatura u opsegu od 9,5 - 13,5 °C, podeljenog na intervale od 0,5 °C. Ovaj histogram pokazuje da 90% od svih čestina leži u opsegu 10,5 - 13,0 °C. Čestine na krajevima opsega su relativno male; srednje temperature javljaju se samo dva puta u intervalu 9,5 - 10,0 °C, četiri puta u intervalu 10,0 - 10,5 °C i samo tri puta u intervalu 13,0 - 13,5 °C.



Slika 2. Raspodela čestina srednjih godišnjih ($\overline{T}$), maksimalnih (T_M) i minimalnih (T_m) temperatura vazduha u Beogradu

Raspodela srednjih maksimalnih godišnjih temperatura (sl.1b) pokazuje trend sličan trendu srednjih godišnjih temperatura. Srednja vrednost za ceo period osmatranja je 16,6 °C. U periodu 1888. - 1915. godina vrednosti su češće ispod srednje maksimalne vrednosti. U narednim godinama, sve do 1956. godine vrednost jako fluktuira oko srednje vrednosti. Izmedju 1957. i 1990. godine postoji mala fluktuacija oko srednje vrednosti. Slika 2(b) pokazuje raspodelu čestina maksimalnih godišnjih temperatura. Histogram pokazuje da najveći deo čestina leži izmedju 15,0 i 18,0 °C.

Minimalne temperature pokazuju drugačije ponašanje. U toku perioda 1888. - 1915. godine vrednosti T_m, su manje od srednje vrednosti (7,2 °C). Izmedju 1916. i 1944. godine minimalne temperature fluktuiraju oko srednje godišnje vrednosti minimalnih temperatura. Posle 1944. godine evidentan je izuzetan porast,

verovatno usled razvoja grada. Ovo je potvrdjeno raspodelom vrednosti na sl.2(c), gde histogram pokazuje da se maksimalna koncentracija podataka javlja u intervalu 6,0 - 8,5 °C. Populacija podataka u intervalima na krajevima je veoma mala i karakteristično je da se temperature manje od 6,0 °C javljaju samo u periodima 1888. - 1905. godine i 1907. - 1915. godine.

Tabela 1. Srednje 10-godišnje temperature u Beogradu

Period	$T_m(°C)$	$\overline{T}(°C)$	$T_M(°C)$
1891 - 1900	6,2	11,1	16,3
1901 - 1910	6,5	11,2	16,5
1911 - 1920	6,5	11,3	16,8
1921 - 1930	7,0	11,7	17,0
1931 -1940	7,2	11,5	16,6
1941 - 1950	7,5	12,1	16,6
1951 - 1960	7,7	11,9	16,6
1961 - 1970	7,5	11,7	16,8
1971 - 1980	7,8	11,7	16,3
1981 - 1990	7,9	11,9	16,6
1951 - 1990	7,7	11,8	16,6

Da bi se potvrdila navedena teza o trendovima, izračunate su srednje vrednosti za 10 - godišnje periode, sa početkom od 1891. godine. Dobijeni rezultati dati su u Tabeli 1. Preliminarna analiza po kazuje da dok srednje i maksimalne godišnje temperature rastu u periodima 1891. - 1950. godine ($\overline{T}$) i 1891. - 1930. godine (T_M) i neznatno fluktuiraju oko srednjih višegodišnjih vrednosti do 1990. godine, minimalne godišnje temperature imaju tendenciju porasta, osim u periodu 1961. - 1970. godine. Medjutim, u toku perioda 1951. - 1990. godine vrednosti maksimalne temperature su oko 16,6 °C (jednake srednjoj višegodišnjoj vrednosti), dok su vrednosti srednje temperature bile više od srednje višegodišnje vrednosti, verovatno zbog stalnog rasta minimalnih temperatura.

Srednje i maksimalne temperature su opadale u periodu 1971. - 1980. godine pošto je zima 1973. godine bila najhladnija od 1918. godine, dok su zime 1981. godine i 1982. godine bile medju pet najtoplijih zima u višegodišnjem periodu ispitivanja. Zbog svega navedenog, srednja i maksimalna temperatura su porasle 90 - tih godina.

U svom radu Jones (1986.) ističe da niz osmatranja površinske temperature u poslednjih 100 godina pokazuje generalno zagrevanje severne hemisfere od oko 0,4 °C od 1880. godine, što se dobro slaže sa teorijskom procenom porasta temperature, koji se može očekivati kao posledica porasta atmosferskog CO_2 za 15 - 20%. Veruje se da je porast ovog reda veličine (Wilson i Mitchell, 1987.) posledica sagorevanja fosilnih goriva (povećano zagrevanje i saobraćaj u gradovima) u toku poslednjih 100 godina, mada se koncentracija CO_2 u atmosferi

stvarno meri tek od 1958. godine i postoji veliki opseg izračunatih vrednosti pre velikog rasta industrije. Drugi spoljašni faktori (aerosoli, Sunčev fluks i td.) mogu da uslove promene temperature osmotrene veličine i bilo koje procene očekivane promene klime prognozirane tekućim teorijskim modelima ne mogu biti pouzdane zbog mnogih povratnih efekata i drugih faktora koji još uvek nisu u modelima uzeti u obzir.

3.4. Analiza trenda pomoću filtera male prohodnosti

Za bolji opis makro-razmernog ponašanja temperature vazduha u Beogradu korišćena je tehnika numeričkog filtriranja male prohodnosti. Pomoću ove tehnike svaka tačka u vremenskoj sekvenci je dobijena kao srednja vrednost M uzoraka pre i M uzoraka posle nje. Broj M predstavlje dužinu filtera i izabran je po fizičkom kriterijumu. Ako je N broj uzoraka srednjih godišnjih temperatura (ovde je N dužina niza podataka), trend temperature je dobijen pomoću relacije:

$$\bar{x}_T = \sum_{k=-M}^{M} h_k\, x_{t-k}\,, \qquad t = 1,2,3,\ldots\ldots,N$$

Filter h_k korišćen u ovoj analizi je Ormsbyjev filter (Ormbsy, 1961.; Colacino i Rovelli, 1983.) definisan pomoću

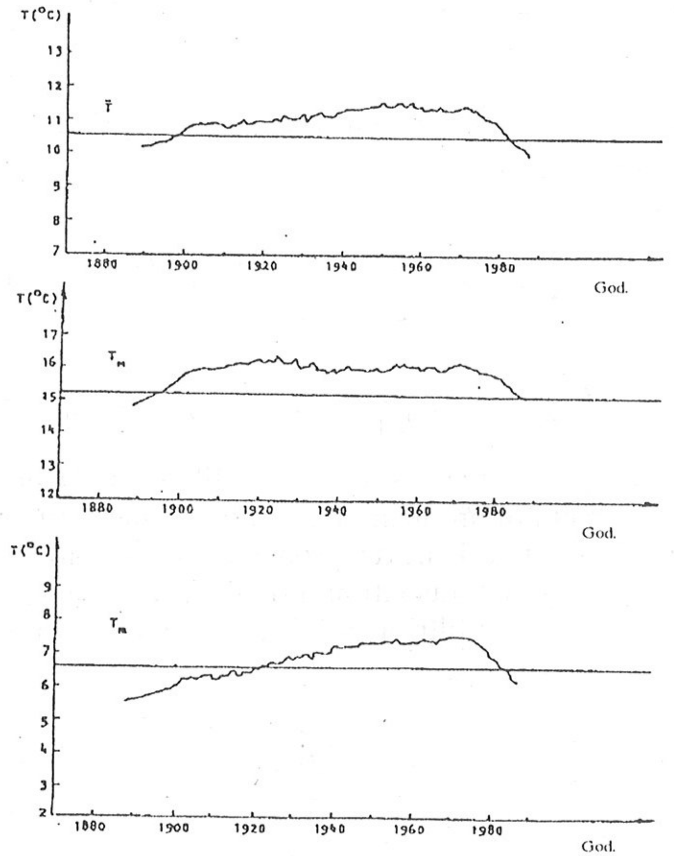
$$h_k = \frac{\sin(2\pi f_1\, k\,\Delta t)\sin(2\pi f_2\, k\,\Delta t)}{2\pi^2 f_2 (k\,\Delta t)^2},$$

sa $f_1 = \dfrac{f_r + f_c}{2}$ i $f_2 = \dfrac{f_r - f_c}{2}$ gde su f_r i f_c poznate kao roll-of i cut-of frekvencije. U našem slučaju je $\Delta t = 1$ godina. Značaj ovog tipa filtera male prohodnosti je u jediničnom povećavanju i nultoj promeni faze, tj. on ne menja amplitudu signala u traci prohodnosti i ne unosi neku promenu u različitim harmonicima. Karakteristike filtera se mogu lako uočiti na krivoj čestine reakcije filtera (sl. 4). Kako bi se postigla visoka tačnost filtriranja (1%) pogodno je M odrediti koristeći izraz

$$M = \frac{2 f_N}{f_r - f_c}$$

što u našem slučaju daje $M \approx 22$. Da bi eliminisali fluktuacije sa periodom manjim od 20 godina izabrano je da $f_r = 1/20$ ciklusa po godini i $f_c = 1/100$ ciklusa po godini. f_N je Nyquistova frekvencija koja je povezana sa merom uzorka izrazom

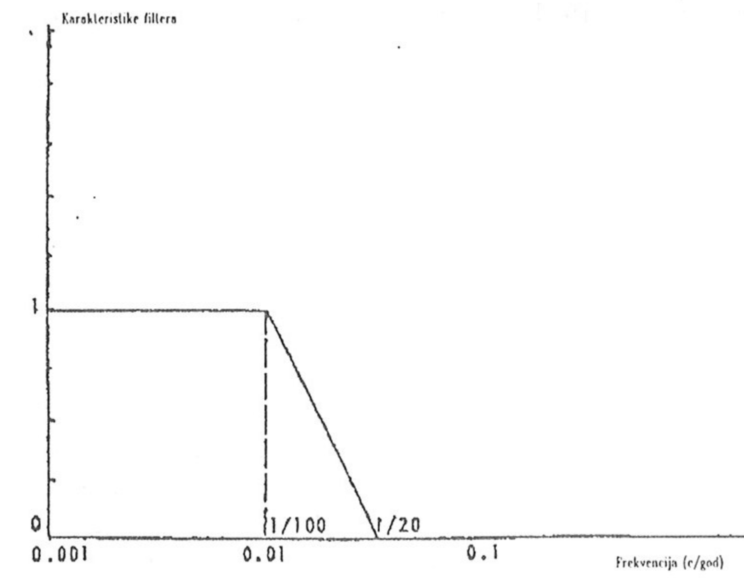
$f_N = \frac{1}{2}\Delta t$. Najzad, treba naglasiti da su rezultati ovog tipa analize manje tačni na granicama serija nego u sredini intervala, jer su procenjene vrednosti pod asimetričnim uticajem zbog nedostataka podataka levo i desno od proučavanog perioda. Dobijeni trendovi ovih serija temperature prikazani su na sl. 3. Srednje temperature pokazuju pozitivni trend u periodu 1888. - 1970. godine. U periodu 1888. - 1938. godine, temperatura raste u iznosu od 0,01 °C god.$^{-1}$, teži da ostane konstantna do 1970. godine i opada u toku sledećih godina. Sličan trend postoji i kod maksimalnih temperatura koje rastu do 1929. godine. U tom periodu dolazilo je češće do pojave visokih dnevnih temperatura u intervalu od 38,0 °C do 42,0 °C (apsolutni višegodišnji maksimum). Maksimalne temperature ostaju više ili manje konstantne izmedju 1929. i 1970. godine, a opadaju izmedju 1971. i 1987. godine. Ovo poslednje hladjenje može biti delimično uslovljeno primenom Ormsbyjevog filtera jer uticaji filtera i krajeva proučavane serije verovatno imaju značajan efekat na sve vrednosti posle 1965. godine. Sličan problem nastaje i na početku serije (sl. 3).



Slika 3. Trendovi srednjih godišnjih ($\overline{T}$), maksimalnih (T_M) i minimalnih (T_m) temperatura vazduha u Beogradu dobijenih numeričkim filtriranjem

Minimalne temperature pokazuju nešto drugačije ponašanje. One teže da rastu čak i u toku poslednjih godina, dok u isto vreme srednje i maksimalne temperature opadaju. Naročito se minimalne temperature povećavaju izmedju 1920. i 1945. godine. Posle 1947. godine rastu slabije sve do 1987. godine. Sličan trend minimalne temperature je zapažen i kod drugih evropskih gradova, tj. Pariz (Dettwiller, 1978.), Rim (Colacino i dr., 1983.) i Atinu (Katsoulis, 1987.). Aspekt promene srednje temperature u Beogradu pokazuje periode bez odredjenih trendova. Ovo može biti zbog normalne promenljivosti iz godine u godinu vremena u toku ovih perioda u poredjenju sa varijabilnošću vremena u gradovima sa humidnim klimatima u Evropi.

Efektom gradskog ostrva toplote možemo delimično da objasnimo povećanje minimalne temperature kao makro-razmerne varijacije koja utiče na lokalnu mikro-klimu. Ovaj uticaj je jači kod minimalnih nego kod maksimalnih i srednjih temperatura, što će biti detaljnije diskutovano u narednom odeljku (Oke, 1974.; Landsberg, 1981.). Uobičajeno je da se objašnjenje za porast minimalne temperature u gradu traži u vezi sa rastom populacije, parametrom koji reflektuje sâmu veličinu grada. U slučaju Beograda, uradjena je analiza korelacije koristeći godišnje podatke rasta populacije od 1890. do 1991. godine, i odgovarajuće minimalne temperature.



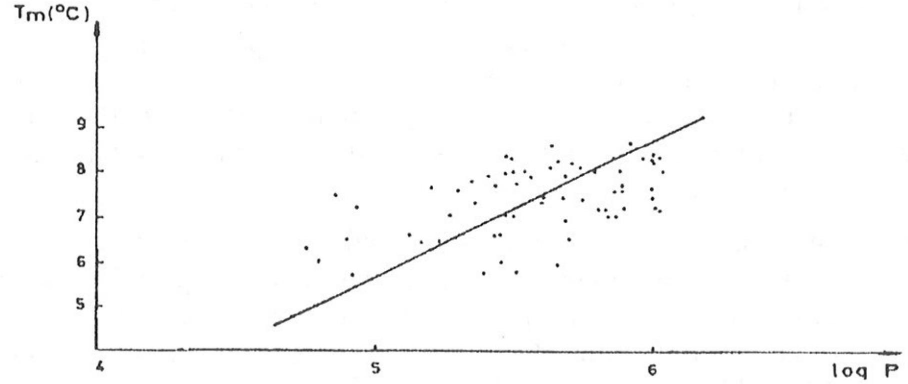
Slika 4. Karakteristike filtera u zavisnosti od frekvencije

Takodje je uradjena i regresiona analiza koristeći sledeći tip relacije preuzet iz literature (Garstang, 1975.; Landsberg, 1981.):

$$T_m = a + b \log P, \quad (P = populacija)$$

Trend raspodele, prikazan na sl. 5, pokazuje pravu liniju koja odgovara podacima primenjujući navedenu formulu. Minimalne temperature pokazuju tendenciju ka porastu naročito u poslednjih 30 godina. U istom periodu populacija

u Beogradu je povećana od 428000 (1951. godine) do 2500000 (1991. godine). Ovo je uslovilo povećanje grejne aktivnosti u gradu (veće korišćenje centralnog grejanja, oslobadjanje energije aktivnošću industrije itd.), koja bitno povećava temperaturu vazduha iznad grada.



Slika 5. Veza izmedju srednje godišnje minimalne temperature (T_m) vazduha u Beogradu i logaritma populacije (P)

Za detaljniji uvid u ponašanje dnevnih minimalnih temperatura vazduha u Beogradu, u periodu 1888. - 1991. godine vidi Tabele 37, 38 i 39 u Prilozima.

4. GRADSKO OSTRVO TOPLOTE

4.1. Topografija i morfologija grada

Sa stanovišta gradske klime, područje grada Beograda je krajnje kompleksno. Pod datim sinoptičkim uslovima tu postoje tri medjusobno povezana niza klimatskih činilaca, svaki sa različitom prostornom i vremenskom razmerom. Ovi činioci su topografija, morfologija grada i blizina dveju velikih reka. Stoga su na području grada Beograda evidentne teškoće za procenu gradskog ostrva toplote zbog sledećih uticaja na temperaturu:

1) okolnih reka,
2) velikih promena u elevaciji i
3) lokalnih cirkulacija koje se javljaju zbog morfologije grada i kompleksnog terena.

U daljem tekstu biće istaknute osnovne karakteristke ovih činilaca.

Cilj ovog odeljka je analiza temperature vazduha u periodu 1970. -1989. godine u mreži stanica koja pokriva beogradsko područje. Stanice su reprezentativne za gradske i seoske uslove, tako da se korisne indikacije mogu dobiti o srednjim karakteristikama ostrva toplote u Beogradu. S tim u vezi, u daljem tekstu biće date i neke procene o razlici izmedju temperature grada (u) i njegove okoline (r) ΔT_{u-r} uradjene na bazi relacija iz literature, tj. Okea (1974., 1979.), Landsberga (1981.), Colacino i Lavagninija (1982.) i Katsoulis i Theoharatosa (1985.).

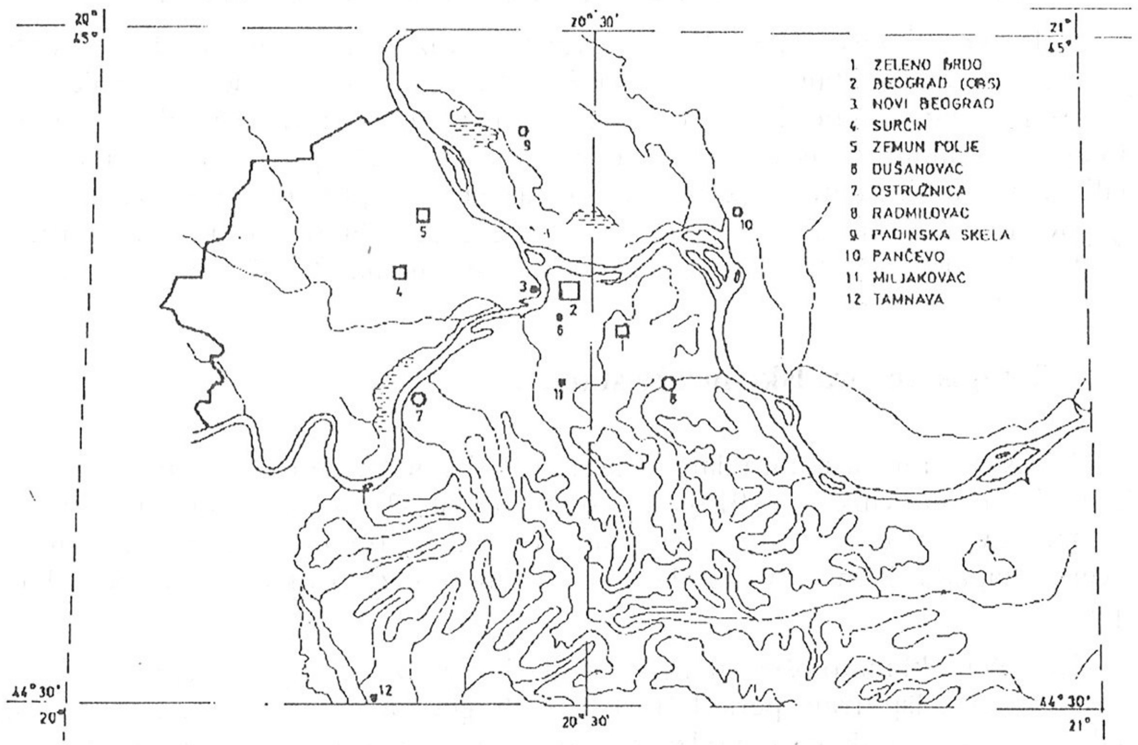
4.2. Opis beogradske mreže stanica

Korišćena mreža stanica data je na sl. 6. Područje Beograda sa populacijom od 2,5 miliona stanovnika u 1991. godini pokriva oko 322 km^2 sa planinom Avalom na jugu i dvema velikim rekama (Dunav i Sava) i prostranim ravnicama na istoku, severu i zapadu. Klimat Beograda je po svojim karakteristikama kontinentalnog tipa.

Korišćene klimatološke stanice (Tabela 2) reprezentuju gradske, prigradske i seoske uslove. Ispitivani period (1970. - 1989. godina) odgovara periodu maksimalnog razvoja grada pa je podesan za proveru valjanosti nekih formula koje se tiču varijacija temperature i razvoja grada.

Tabela 2. Lista korišćenih stanica

Ime stanice	Nadmorska visina (m.n.m	Tip stanice
1. Zeleno brdo	243	gradska
2. Beograd (Opservatorija)	132	gradska
3. Novi Beograd	74	gradska
4. Surčin	96	prigradska
5, Zemun Polje	88	prigradska
6. Dušanovac	145	gradska
7. Ostružnica	87	seoska
8. Radmilovac	130	seoska
9. Padinska Skela	73	prigradska
10. Pančevo	80	gradska
11. Miljakovac	180	prigradska
12. Tamnava	90	seoska

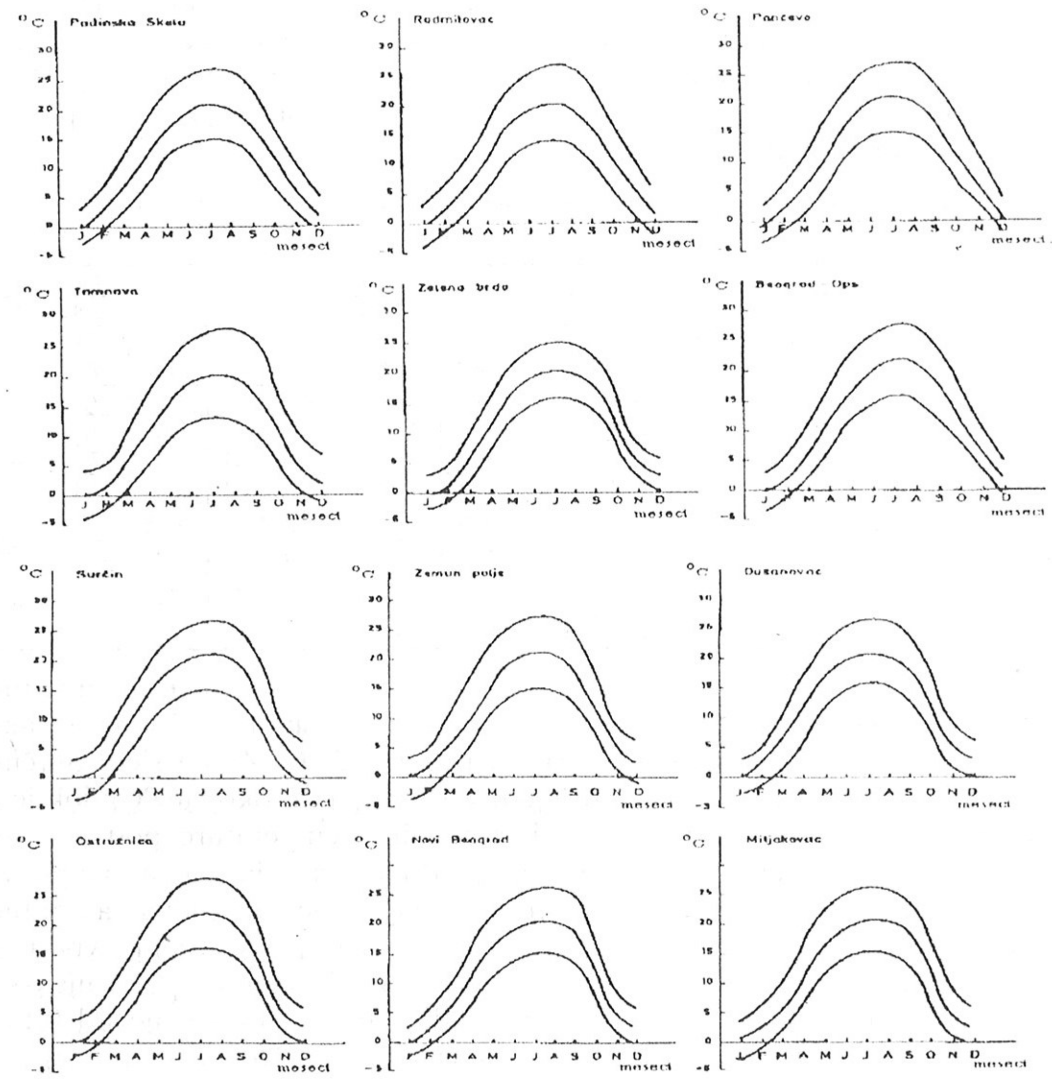


Slika 6. Karta beogradske mreže stanica

4.3. Rezultati analize korišćenih podataka

U analizi su od podataka korišćene srednje dnevne temperature kao i maksimalne i minimalne temperature vazduha. Za svaku srednju vrednost računata je standardna devijacija kako bi se verifikovali podaci prema kriterijumu za odredjenu statističku raspodelu. U našem slučaju korišćene su tablice za t - raspodelu sa (n-1) stepenom slobode (jer je standardna devijacija dobijena za dvadesetogodišnji niz podataka pa je n < 30).

Na sl. 7 pokazane su srednje mesečne, maksimalne i minimalne temperature vazduha za period 1970. - 1989. godine za korišćenu mrežu gradskih, prigradskih i seoskih stanica sa neprekidnim nizom osmaranja.



Slika 7. Srednje mesečne temperature (min., srednje i maks.) u mreži stanica

Dobijene krive srednjih minimalnih temperatura pokazuju da se minimalne vrednosti javljaju u januaru i menjaju se od -4,9 °C i -4,6 °C na seoskim stanicama u Tamnavi i Radmilovcu do -2,3 °C na gradskoj stanici Novi Beograd. U samom centru grada (Beograd - Opservatorija) srednja minimalna temperatura je oko -1,7 °C. I srednje dnevne temperature takodje imaju najmanje vrednosti u januaru koje se kreću od -0,7 °C na seoskoj stanici u Radmilovcu do 0,2 °C na gradskim stanicama na Dušanovcu i Novom Beogradu. U samom centru grada minimalne vrednosti srednje temperature su oko 0,3 °C. Srednje maksimalne temperature javljaju se u julu i avgustu i kreću se od 26,5 °C na stanici Zeleno brdo do 28,6 °C na stanici u Ostružnici. U centru grada (Beograd - Opservatorija) registrovana vrednost srednje maksimalne temperature je 27,8 °C.

Osim toga, krive temperature ukazuju na izražene promene temperature u prelaznim sezonama, dok su u toku zime i leta promene temperature redukovane. Naime, veoma male promene koje se dešavaju u periodu decembar - mart, povećavaju se i dostižu maksimum u aprilu i maju. Zatim promene temperature opadaju dostižući minimum u periodu jul - avgust i ponovo rastu u periodu izmedju septembra i oktobra.

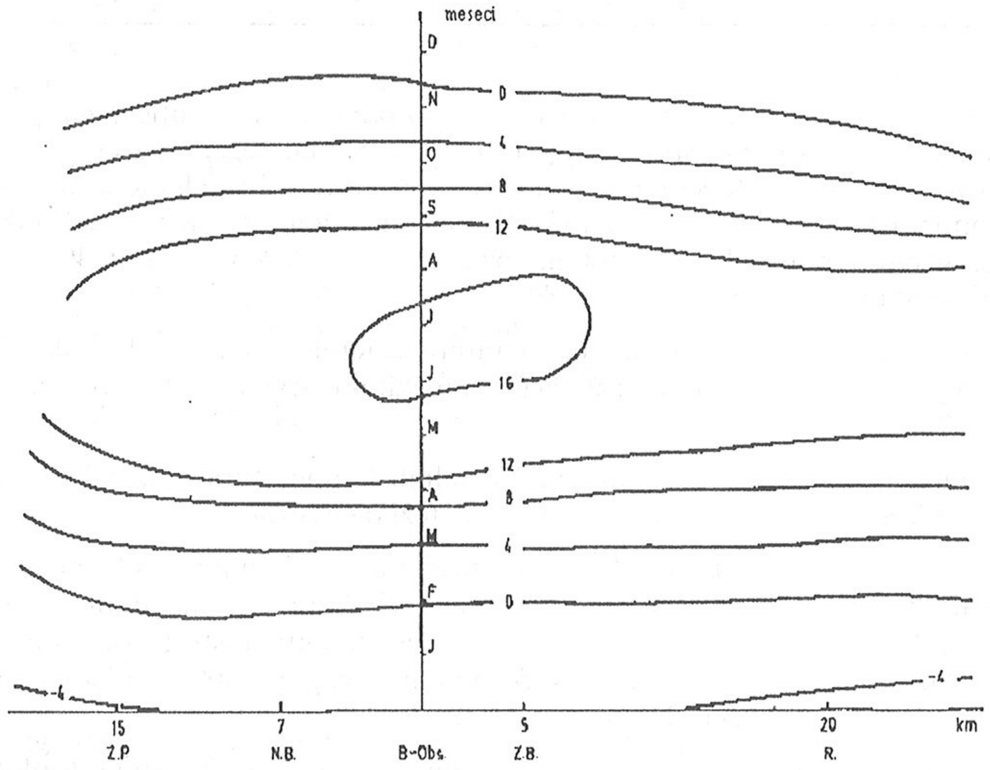
Tabela 3. Srednje mesečne vrednosti dnevnih amplituda temperature (°C)

Stanica	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Maj	Jun	Jul	Avg.	Sep.	Okt.	Nov.	Dec.
Zeleno brdo	5,6	6,0	7,7	8,9	9,2	8,8	8,8	10,0	9,2	8,1	5,8	5,7
Beograd	6,7	7,6	9,3	10,3	10,1	10,9	10,3	10,3	10,7	9,9	7,1	6,9
Novi Beograd	6,7	6,9	7,6	9,0	10,8	10,9	11,1	11,4	11,5	9,3	7,5	7,1
Surčin	6,8	7,3	9,5	9,8	10,9	11,0	12,1	12,4	12,4	10,6	7,3	6,8
Zemun Polje	7,1	7,5	10,0	11,4	11,5	11,5	12,6	12,6	13,1	11,0	7,5	7,1
Dušanovac	6,5	7,1	8,8	10,4	10,8	10,5	11,4	10,6	11,4	9,8	7,1	6,3
Ostružnica	6,4	6,8	8,7	10,7	11,3	11,1	11,9	12,4	12,2	10,0	7,4	6,2
Radmilovac	6,5	8,2	10,4	11,7	11,9	11,6	12,9	12,8	13.00	12,1	9,1	7,3
Padinska Skela	6,4	7,1	11,9	11,0	10,4	11,4	12,0	11,9	11,4	10,9	8,0	6,0
Pančevo	7,5	7,9	10,5	11,6	11,5	11,9	12,3	12,0	12,4	11,6	8,4	8,0
Miljakovac	6,5	6,9	8,4	9,2	11,0	12,0	10,0	9,5	10,5	9,0	6,9	6,2
Tamnava	8,4	9,0	10,9	13,0	12,7	12,7	13,8	14,4	14,8	12,4	9,4	8,5

U Tabeli 3 su pokazane srednje mesečne vrednosti dnevnih amplituda temperature. Uočena je zavisnost od tipa stanice. U seoskim stanicama je takva varijacija približno 7 - 15 °C, što godišnje iznosi 6 - 7 °C. Zatim sledi Surčin - Aerodrom (prigradska stanica) sa godišnjom varijacijom od oko 5,6 °C, dok je za gradske stanice, na kojima su vrednosti minimalne temperature pod uticajem toplote proizvedene ljudskim aktivnostima, godišnja varijacija dnevne amplitude 4 - 5 °C. Ispitujući mogući uticaj nadmorske visine stanice na dnevne amplitude temperature pokazalo se da je efekat bez većeg značaja. Svodjenje vrednosti srednjih mesečnih amplituda iz Tabele 3 na najmanju visinu stanice pokazuje da su redukcije mesečnih vrednosti dnevnih amplituda temperature manje od 0,1 °C izuzev za stanicu Zeleno brdo, gde je ova redukcija iznosila 0,5 °C.

4.4. Gradsko ostrvo toplote

Da bi se odredio efekat gradskog ostrva toplote u odnosu na okolne površine korišćen je prostorno vremenski presek srednjih vrednosti minimalnih temperatura na stanicama lociranim na pravoj liniji od Zemun Polja do Radmilovca. Presek daje mesečne razlike minimalne temperature od prigradske stanice Zemun Polje kroz grad do seoske stanice Radmilovac, što je ilustrovano na sl. 8. U odnosu na minimalne temperature ostrvo toplote je izraženije u toku letnjih nego u toku zimskih meseci sa intenzitetom koji se smanjuje idući od letnjih ka zimskim mesecima, što se može dovesti u vezu sa promenom bilansa zračenja u gradu u odnosu na seosku sredinu.



Slika 8. Vremensko-prostorni presek srednjih mesečnih minimalnih temperatura (°C)

U Tabeli 4 ΔT_{r-r}, ΔT_{s-s} i ΔT_{u-s} predstavljaju razlike u temperaturama izmedju: dve seoske stanice (r) Radmilovac i Tamnava (sa razlikom u nadmorskoj visini od 40 m), dve prigradske stanice (s) Zemun Polje i Padinska Skela (sa razlikom u nadmorskoj vidini od 15 m) kao i gradske stanice (u) Beograd - Opservatorija i prigradske stanice Surčin - Aerodrom (sa razlikom u nadmorskoj visini od 36 m). Izraz ΔT_{u-r} odnosi se na razlike u temperaturi izmedju gradske i seoskih stanica lociranih u Beogradu - Opservatorija, Radmilovcu i Tamnavi (sa razlikama u nadmorskoj visini od 2 i 42 m redom).

Tabela 4. Srednje mesečne vrednosti razlika minimalne temperature izmedju grada i okoline (°C)

Razlike temperature	MESECI												Srednje godišnje
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Maj	Jun	Jul	Avg.	Sep.	Okt.	Nov.	Dec.	
ΔT_{u-r}	1,9	2,0	2,3	2,5	3,0	2,5	3,0	2,7	3,3	3,2	1,3	2,3	2,5
ΔT_{r-r}	1,3	1,8	1,6	1,9	1,6	1,9	1,6	2,6	1,5	1,5	1,6	1,5	1,7
ΔT_{s-s}	1,3	2,2	1,6	1,7	2,0	1,2	2,3	2,3	1,4	1,5	1,0	1,1	1,8
ΔT_{u-r}	1,5	2,0	1,7	2,5	3,4	3,3	3,6	3,3	3,8	3,7	3,0	1,8	2,8
ΔT_{u-s}	1,9	1,6	1,9	2,2	1,5	1,6	2,2	1,0	1,9	1,1	2,0	1,0	1,6

Poredjenjem dobijenih vrednosti može se zaključiti da se uticaj nadmorske visine manifestuje u kontrastima temperature. Uopšteno rečeno, očevidno je da grad stvara ostrvo toplote sa temperaturama koje rastu od predgradja ka centru. Zbog topografije (promena u nadmorskoj visini) i drugih usložnjavajućih faktora teško je utvrditi konačnu vrednost intenziteta ostrva toplote, ali se kao tačna procena pojavljuje 2 - 3 °C.

Ispitivanje srednjih mesečnih temperatura (merenih u 21.00 h) takodje je potvrdilo pojavu ostrva toplote (Tabela 5). Intenzitet ostrva toplote bio je u ovom slučju 1 - 2 °C.

Medjutim, ispitivanje srednjih i maksimalnih temperatura pokazalo je da je uticaj gradskog ostrva toplote veoma mali i da teži da iščezne.

Postojanje ostrva toplote, koje je izraženije kod minimalnih nego kod maksimalnih temperatura, može se objasniti fizičkim mehanizmima koji ga odredjuju, tj. proizvodnjom toplote zbog ljudskih aktivnosti i oslobadjanjem toplote noću zbog veće dnevne apsorpcije Sunčevog zračenja koja zavisi od termičkih karakteristika zgrada (Oke, 1974., 1979.).

U odnosu na prvi navedeni mehanizam, procena proizvodnje toplote u odnosu na zimske mesece i potrošnju goriva u ljudskim aktivnostima (zagrevanje, saobraćaj itd.) je oko $7x10^5$ $Jm^{-2}d^{-1}$ (Katsoulis i Theoharatos, 1985.), gde d označava dan. Srednji podaci 25 godišnjeg perioda (Rezultati osmatranja Meteorološke opservatorije u Beogradu 1888. -1986. godine) daju za insolaciju (srednje globalno Sunčevo zračenje na horizontalnu površinu) u Beogradu u zimsko vreme vrednost od oko $7x10^6$ $Jm^{-2}d^{-1}$. Odavde se može zaključiti da je proizvodnja toplote ljudskom aktivnošću značajan činilac u povećanju minimalne temperature u toku zime zbog zagrevanja zgrada u časovima posle zalaska Sunca (Tabela 5).

Tabela 5. Srednje mesečne vrednosti razlika temperature (izmerene u 21.00 h) izmedju grada i okoline (°C)

Razlike temperature	MESECI												Godišnje
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Maj	Jun	Jul	Avg.	Sep.	Okt.	Nov.	Dec.	
ΔT_{u-r}	0,8	1,0	1,0	1,2	1,6	1,3	1,6	1,2	1,8	2,0	0,9	1,2	1,3
ΔT_{r-r}	0,4	0,6	0,7	0,7	1,1	0,5	1,0	1,6	0,6	0,5	0,4	0,3	0,7
ΔT_{s-s}	0,5	1,0	0,9	0,8	1,0	0,5	1,1	1,2	0,9	0,7	0,6	0,5	0,8
ΔT_{u-r}	1,0	1,3	1,1	1,3	1,7	1,5	1,7	1,3	2,2	2,1	1,8	1,0	1,5
ΔT_{u-s}	1,1	1,0	1,3	1,2	1,0	1,0	1,3	0,7	1,0	0,9	0,8	0,8	1,0

Što se tiče oslobadjanja toplote, ono je posebno značajno u objašnjavanju povećanja letnjih minimalnih temperatura (Colacino i Lavagnini, 1982.). S tim u vezi, analiza pokazuje da su maksimalne razlike u temperaturi osmotrene u noćnim satima što potvrdjuju i drugi autori (na pr. Oke, 1979.).

U odnosu na mogućnost predstavljanja ΔT_{u-r} predložene su različite formule koje povezuje vrednost ΔT_{u-r} ili sa meteorološkim parametrima kao što su vetar i gradijent temperature registrovan u seoskim oblastima ili parametrima koji odražavaju veličinu grada kao što je populacija.

Za gradove sa preko 2000000 stanovnika, Ludwig i Kealhoa (1968.) su predložili sledeću relaciju:

$$\Delta T_{u-r} = 2,6 - 14,8\left(\frac{\Delta \Theta}{\Delta p}\right)_r$$

gde je $\frac{\Delta \Theta}{\Delta p}$ vertikalni gradijent potencijalne temperature. Ovu relaciju je Ludwig (1970.) kasnije modifikovao uvodeći izraz za populaciju P:

$$\Delta T_{u-r} = P^{1/4}\left[0,663 - 0,298\left(\frac{\Delta \Theta}{\Delta p}\right)_r\right]$$

Takodje je Oke (1974.) predložio izraz za maksimalnu vrednost ΔT_{u-r} pri vedrom nebu u obliku:

$$\Delta T_{u-r} = \frac{P^{1/4}}{4\bar{u}^{1/2}},$$

gde je $\bar{u}$ srednja brzina vetra. Koristeći podatke za seosku stanicu u Tamnavi dobijene su vrednosti za razliku temperatura T_{u-r} i predstavljene u Tabeli 6.

Tabela 6. Izračunato ΔT_{u-r} (°C) po raznim autorima i osmotreno izmedju Opservatorije u Beogradu i stanice u Tamnavi

	Izračunato			Osmotreno
	Ludwig i Kealhoa	Ludwig	Oke	
Zima	1,8	1,5	-	2,3
Leto	0,02	2,2	-	3,3
Godišnje	0,02	1,8	2,7	2,8

Kao što se na prvi pogled uočava, sve predložene relacije daju manju vrednost za ΔT_{u-r} nego što je dobijena osmatranjem. Takodje je ustanovljeno i značajno odstupanje u podacima za mnoge evropske gradove i relaciju koju je predložio Oke (1979.). Ova relacija je napravljena za velike razlike u temperaturi izmedju grada i sela izmerene u proučavanim periodima ograničene dužine. U mnogim slučajevima su one bile maksimalne u prostoru odredjenom automobilskim trasama. Ova merenja predstavljaju ekstreme u raspodeli, dok srednje vrednosti zasnovane na klimatološkim podacima predstavljaju centralnu vrednost. Prema tome, to se možda može objasniti činjenicom da je Beograd izložen jakim vetrovima naročito u zimskim i prolećnim mesecima, čija srednja brzina iznosi približno 3 - 4 m s^{-1}. Stoga se može zaključiti da vetar uslovljava redukciju u razlici ΔT_{u-r} u odnosu na onu koja bi se osmotrila u uslovima bez vetra.

Sa druge strane, razlike u razlikama maksimalnih i minimalnih temperatura, koje su komentarisane u Poglavlju 4.3., mogu se interpretirati kao dugoročne varijacije zbog širenja grada i kao posledica porasta temperature u gradu zbog ljudskih faktora. Ovaj uticaj je mnogo izraženiji kod minimalnih nego maksimalnih temperatura, jer je uticaj gradskog ostrva toplote uočljiviji noću nego danju (Oke, 1974., Landsberg, 1981., Colacino i Lavagnini, 1982., Katsoulis i Theoharatos, 1985.). Regresiona analiza uradjena u prethodnom odeljku (sl. 5) koja povezuje izmerene minimalne temperature sa gradskom populacijom u saglasnosti je i sa minimalnim temperaturama u intervalu (5,0 - 5,5 °C) izmerenim u seoskim oblastima oko Beograda.

5. TEMPERATURA ZEMLJIŠTA

5.1. Termičke osobenosti tla

Temperatura zemljišne površine kao i dubljih slojeva zemljišta ima veliki klimatski značaj. Zagrejana zemlja danju, pri insolaciji, povećava temperaturu vazduha, dok noću, pri radijaciji, smanjuje temperaturu vazduha. Suva, gola kopnena površina može se u oblasti umerene klime zagrejati i iznad 40 °C. Medjutim, u slučaju kada je zemljište pokriveno vegetacijom, uslovi zagrevanja su sasvim drugačiji.

Ovako visoke temperature ograničene su samo na Zemljinu površinu i jedan tanak dubinski sloj zemljišta. Na dubini od 1 m prestaje praktično dnevno kolebanje temperature, koje za biologiju biljaka ima veliki značaj.

Pošto se zamljišna vlaga sastoji od rastvora raznih soli različite koncentracije, to smrzavanje toga rastvora nastaje na temperaturi nižoj od 0 °C. Pri temperaturi oko 0 °C u zemljištu se smrzava voda koja se nalazi u velikim porama. Medjutim, voda koja ispunjava uske kapilare zamrzava se tek pri nižoj temperaturi od 0 °C. Prema tome, dubina u zemljištu na kojoj se voda zamrzava i dubina na kojoj je temperatura 0 °C nisu iste. Zato se prema dubini na kojoj je 0 °C temperatura u zemljištu ne može donositi zaključak o dubini zamrzavanja u zemljištu.

Dubina zamrznutog zemljišta zavisi od lokalnih klimatskih uslova, od vremenskih uslova u zimskom periodu, debljine snežnog pokrivača, reljefa, strukturnog sastava zemljišta, njegove vlažnosti i karaktera biljnog pokrivača.

Ukoliko je zemljište vlažnije, utoliko se sporije zamrzava, jer se pri zamrzavanju vode oslobadja latentna toplota koja ublažava proces zamrzavanja.

Podzemne vode znatno umanjuju hladjenje zemljišta zimi, ukoliko se nalaze na manjoj dubini. Naime, podzemne vode tada povećavaju vlažnost u gornjim slojevima zemljišta, pa samim tim povećavaju i provodljivost toplote iz dubljih, toplijih, slojeva prema površinskim hladnijim slojevima.

5.2. Osnovne karakteristike temperature zemljišta u Beogradu

Pri klimatološkoj analizi temperature Zemljine površine treba imati u vidu da su fizičke osobine toplotnog stanja Zemljine površine drugačije od fizičkih osobina vazduha. Temperaturno kolebanje na površini Zemlje naglo opada u dubljim slojevima zemljišta, što ima za posledicu činjenicu da je promenljivost srednjih temperatura zemljišta na dubini od 20 - 40 cm manja od promenljivosti temperature vazduha. To znači da je temperatura zemljišta dosta stabilna, pa se pri obradi temperaturnih podataka zemljišta može iskoristiti kraći period

osmatranja, nego pri obradi podataka o temperaturi vazduha. Period od deset godina može potpuno zadovoljiti potrebe (Milosavljević, 1972.).

Tabela 7. Srednje mesečne temperature zemljišta na stanici

Novi Beograd - pokriveno zemljište (Milosavljević, 1972)

Dubina (cm)	MESECI											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2	1,7	4,4	3,0	10,2	19,5	21,3	23,2	22,3	17,8	12,5	8,4	2,4
5	1,9	4,3	3,3	9,9	18,6	21,0	22,8	22,1	17,8	12,7	8,7	2,7
10	2,4	4,4	3,2	9,7	18,0	20,8	22,7	21,8	18,2	13,1	9,3	3,4
20	2,9	4,2	3,2	8,9	16,6	20,0	21,6	21,4	18,4	13,5	10,1	4,3
50	3,9	4,7	3,8	8,7	15,7	19,7	20,4	21,0	19,2	14,5	11,3	5,7
100	6,6	6,0	4,8	7,6	12,1	19,3	20,0	20,8	19,2	16,1	13,7	9,5

Novi Beograd - nepokriveno zemljište

Dubina (cm)	MESECI											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2	0,6	4,9	3,3	10,6	34,6	24,4	29,2	23,3	18,9	12,9	7,8	1,9
5	1,3	4,2	3,2	9,9	20,9	22,6	26,4	22,6	18,6	12,8	8,6	2,6
10	1,8	4,3	3,4	9,9	20,4	22,5	26,0	22,7	18,8	13,1	9,1	3,1
20	2,5	4,0	3,6	9,6	19,1	21,6	25,0	22,3	18,9	13,5	9,8	4,2
50	4,3	4,7	4,0	8,5	15,5	20,8	24,4	21,9	19,3	15,0	11,9	6,6
100	5,6	4,6	4,1	6,7	12,0	19,3	23,0	20,3	19,4	16,3	14,0	11,1

Meteorološka opservatorija u Beogradu - nepokriveno zemljište

Dubina (cm)	MESECI											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2	0,3	4,4	2,7	9,8	23,2	23,7	27,5	25,1	18	11,3	7,2	1,1
5	0,7	4,3	3,2	9,8	21,8	22,9	26,2	24,3	18,4	11,9	7,8	1,7
10	1,0	4,1	3,2	9,7	21,0	22,7	25,6	24,3	18,9	12,3	8,3	2,0
20	1,5	3,9	3,2	9,4	19,4	21,9	24,6	23,8	19,0	12,7	9,0	2,8
50	2,2	2,6	3,9	8,7	16,7	19,4	21,2	23,0	19,5	14	10,6	4,8
100	4,4	5,0	4,6	7,9	14,2	17,2	20,4	21,9	19,6	15,2	12,2	7,0

U vezi sa stabilnošću temperaturnih podataka zemljišta u toku vremena treba znati da se oni menjaju u prostoru pod uticajem mesnih prilika, kao što su: vrsta površine (pokrivena vegetacijom, snegom ili gola površina), pedološki sastav zemljišta, struktura, reljef, visina podzemnih voda i td.

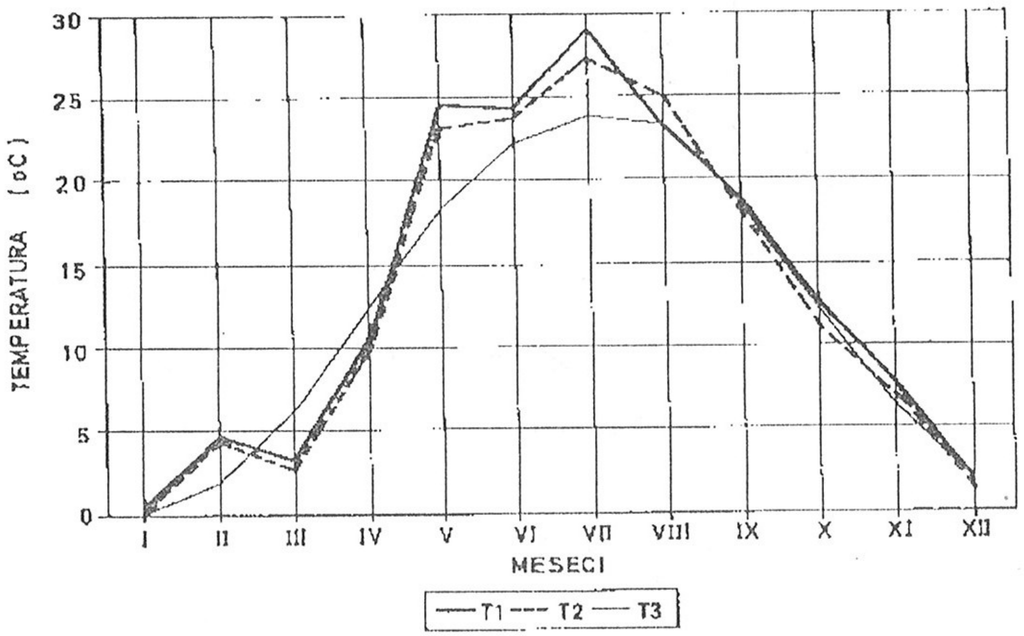
Ovde će biti pokazani podaci Meteorološke opservatorije u Beogradu, temperature zemljišta na dubini 2, 5, 10, 20, 50 i 100 cm, za zemljište bez vegetacije, odnosno snežnog pokrivača. Radi uporedjenja pokazaće se, za isti vremenski period, i temperature zemljišta na Novom Beogradu, kako zamljišta

bez vegetacije, odnosno snežnog pokrivača, tako i zemljišta pokrivenog travom, odnosno snežnim pokrivačem na istim dubinama.

Zemljište na Novom Beogradu je humusna glinovita ilovača do 70 cm dubine a zatim pesak, dok je zemljište kod Meteorološke opservatorije takodje glinovita ilovača, koja je nasuta 1962. godine, tako da se dobro slegla.

Travnati pokrivač ispod koga su merene temperature zemljišta na Novom Beogradu sastojao se iz mešavine deteline vrste zvezdan, bele deteline i engleske trave. Visina travnog pokrivača bila je oko 15 cm. Trava je na početku bila dosta retka a tek u junu i julu 1958. godine trava je bila veoma gusta. Srednje mesečne vrednosti temperature zemljišta na Novom Beogradu i Meteorološkoj opservatoriji u Beogradu prikazene su u Tabeli 7 (Milosavljević, 1972.).

Iz ove tabele se vidi da temperatura zemljišta, kako pokrivenog tako i nepokrivenog, u zimskim mesecima raste sa dubinom, a u letnjim opada. Dalje se iz navedene tabele takodje vidi kako travni pokrivač visine 15 cm i snežni pokrivač utiču na temperaturne odnose u zemljištu.



Slika 9. Godišnji tokovi temperature na 2 cm dubine nepokrivenog zemljišta (Milosavljević, 1972.):

T_1 - Novi Beograd od 01. 08 1957. do 31. 07 1958. godine;

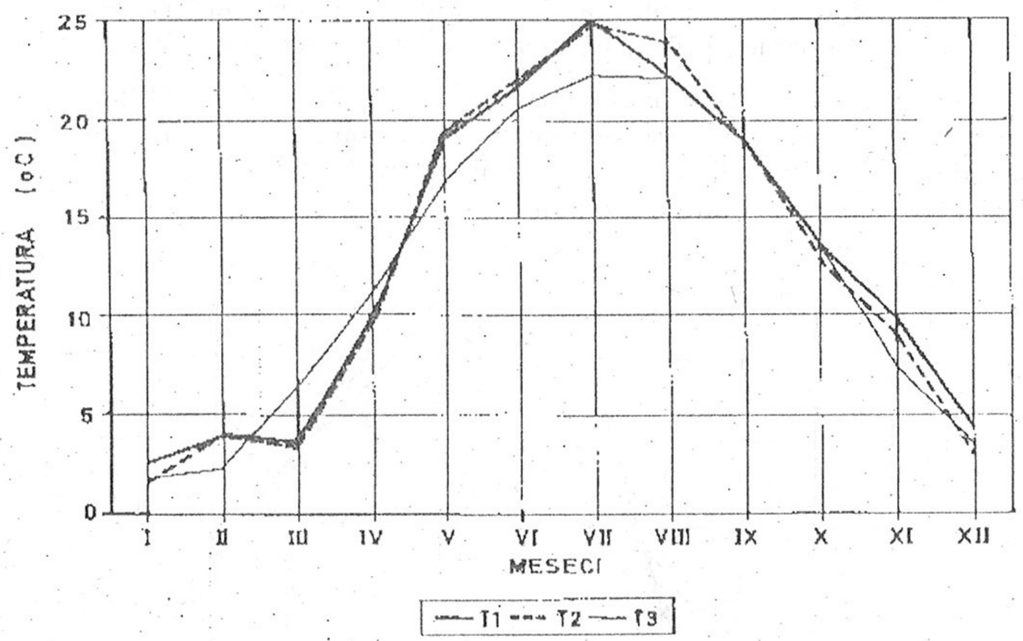
T_2 - Meteorološka opservatorija (isti period);

T_3 - Meteorološka opservatorija od 1960. do 1989. godine

Na sl. 9 predstavljeni su godišnji tokovi temperature na Zemljinoj površini na Novom Beogradu (T_1) i na Meteorološkoj opservatoriji (T_2). Na ovoj slici predstavljen je još i godišnji temperaturni tok na Meteorološkoj opservatoriji (T_3) za period 1960. - 1989. godine. Sa sl. 9 se vidi da se krive T_1 i T_2 dosta dobro medju

sobom podudaraju u zimskim, prolećnim, a pogotovo u jesenjim mesecima. Ove krive se podudaraju i sa krivom T_3 za period 1960. - 1989. godine, ali samo od septembra do decembra.

Na sl. 10 predstavljeni su godišnji tokovi temperature zemljišta na dubini od 20 cm, takodje na Novom Beogradu (T_1) i na Meteorološkoj opservatoriji (T_2) kao i na Meteorološkoj opservatoriji za period 1960.-1989. godine (T_3). Temperaturne krive T_1 i T_2 se bolje medju sobom slažu na 20 cm dubine (sl. 10) nego pri površini tla (sl. 9). Iz toga se vidi da su temperature zemljišta manje promenljive ukoliko je dubina zemljišta veća.



Slika 10. Godišnji tokovi temperature na 20 cm dubine nepokrivenog zemljišta (Milosavljević, 1972.):

T_1 - Novi Beograd od 01. 08 1957. do 31. 07 1958. godine;

T_2 - Meteorološka opservatorija (isti period);

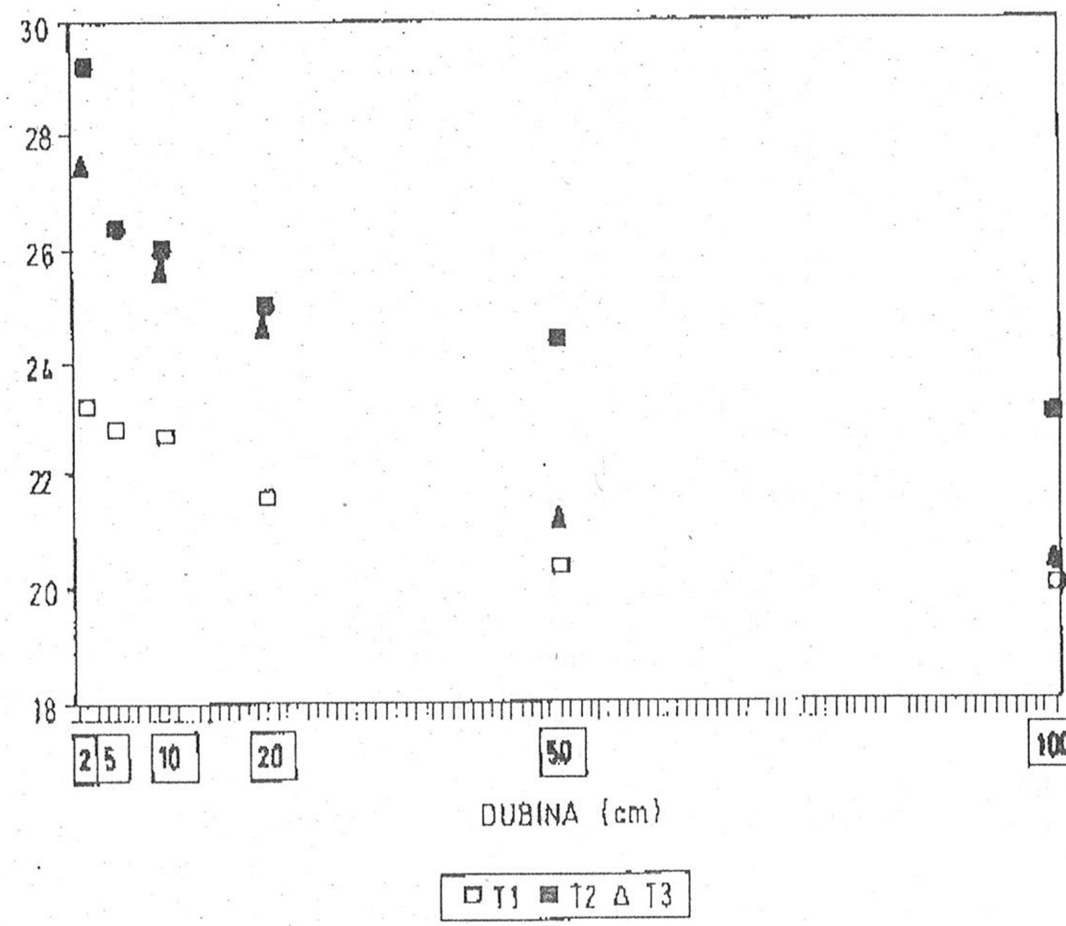
T_3 - Meteorološka opservatorija od 1960. do 1989. godine

Na sl. 11 prikazane su promene temperature sa promenom dubine u zemljištu za mesec jul 1958. godine koji je bio vedar i dosta topao mesec.

Podaci se takodje odnose na Novi Beograd i to: nepokriveno zemljište (T_1) i pokriveno (T_2), kao i nepokriveno zemljište kod Meteorološke opservatorije (T_3) (Milosavljević, 1972.)

Prema sl. 11 srednja mesečna temperatura zamljišta u julu je najveća pri površini tla, a sa dubinom opada. To važi kako za pokriveno tako i za nepokriveno zemljište. No, kao što se vidi temperatura brže opada sa dubinom kod nepokrivenog zemljišta nego kod zemljišta pod vegetacijom. Temperatura zemljišta kod Meteorološke opservatorije je pri površini niža nego na Novom

Beogradu, a zatim je na ostalim dubinamn viša. Karakteristično je da ta razlika temperature raste sa dubinom. Ovo dolazi usled toga što zemljište kod Meteorološke opservatorije bolje provodi toplotu u dublje slojeve (zbog zbijenosti), nego zemljište na Novom Beogradu.



Slika 11. Promene temperature sa dubinom u julu 1958. godine (Milosavljević, 1972.):

T_1 - Novi Beograd - nepokriveno zemljište;

T_2 - Novi Beograd - zemljište pokriveno travom visine 15 cm;

T_3 - Meteorološka opservatorija - nepokriveno zemljište

U Tabeli 8 pokazane su srednje mesečne temperature zemljišta merene na dubini koja je najbliža površini, pa se često uzimaju kao granični uslov u mnogim modelima koji se bave prizemnim graničnim slojevima. Srednje mesečne temperature zemljišta na 2 cm dubine imaju najnižu vrednost u januaru (0,3 °C) od kada postepeno rastu sve do jula kada dostižu maksimalnu vrednost (23,9 °C) da bi zatim ponovo opadale. Najveće maksimalne vrednosti temperature zemljišta

na 2 cm dubine zabeležene su u julu u avgustu 1968. godine i 1967. godine i iznosile su 45,6 °C, a najmanja zabeležena bila je u januru 1963. godine u vrednosti od -13,3 °C.

Tabela 8. Srednje mesečne temperature zemljišta na 2 cm na Meteorološkoj opservatoriji u Beogradu za period 1960. - 1989. godine

	MESECI											
°C	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$\overline{T}$	0,3	2,1	6,4	12,6	18,5	22,3	23,9	23,4	18,5	12,4	6,4	1,9
$\overline{T}_{max}$	7,3	11,1	19,7	26,3	33,0	36,4	38,1	36,4	31,6	23,2	15,6	8,8
T_{max}	12,2	18,1	29,0	33,0	39,4	42,6	45,6	45,6	38,5	33,4	22,5	12,4
God.	1965	1966	1960	1983	1969	1972	1968	1967	1962	1967	1963	1974
$\overline{T}_{min}$	-4,0	-2,3	-0,8	3,7	9,3	13,3	15,0	13,7	9,2	3,3	-0,1	-2,3
T_{min}	-13,3	-7,9	-6,8	0,8	6,1	10,0	10,1	10,0	3,6	-1,0	-7,8	-10,8
God.	1963	1960	1963	1965	1962	1962	1986	1977 / 78	1977	1988	1989	1989

5.3. Modeli za simuliranje temperature tla

Poznavanje temperature tla u funkciji sadržaja vlage je veoma važno za određivanje donjeg graničnog uslova skoro u svim modelima koji se bave simuliranjem uslova u prizemnom graničnom sloju.

Postoji dosta različitih modela za simuliranje temperature golog zemljišta. Tako je Deardorff (1978.) testirao nekoliko metoda za simuliranje temperature Zemljine površine i pokazao da se "force -restore" metodom (Bhumralkar, 1975.; Blackadar, 1976.) dobijaju vrednosti koje su najbliže osmotrenim podacima.

U novije vreme stvaraju se modeli za simuliranje srednje mesečne površinske temperature u specifičnom mestu koristeći metode vremenskih serija (Klein, 1983.; Wilks, 1989.; Chein i Robinson, 1991.).

Ovde će se "force - restore" metodom na primeru zemljišta kod Meteorološke opservatorije u Beogradu uraditi simulacija temperature površine zemljišta u petodnevnom periodu.

Osnovna jednačina navedenog metoda je jednačina za difuziju toplote u vertikalnom pravcu u homogenom zemljištu:

$$\frac{\partial T_g}{\partial t} = \frac{\lambda_g}{C_g}\frac{\partial^2 T_g}{\partial z^2}$$

gde je λ_g i C_g toplotna provodljivost i zapreminski toplotni kapacitet zemljišta.

Pretpostavljajući da se temperatura površine zemljišta menja po sinusnom zakonu i označavajući sa $d = \left(\frac{2\lambda_g}{\omega C_g}\right)^{1/2}$ dubinu na kojoj je amplituda temperature ΔT zanemarljiva, dobijamo za rešenje jednačine za difuziju toplote u vertikalnom pravcu izraz:

$$T_g(z,t) = \overline{T} + \Delta T_o e^{-z/d} \sin\left(\omega t - \frac{z}{d}\right)$$

Koristeći jednačinu za fluks toplote u zemljištu $\gamma_G(z,t) = -\lambda_g \frac{\partial T_g}{\partial z}$, dobijamo sledeću jednačinu:

$$\frac{\partial T_g}{\partial t} = \frac{1}{C_g d_1}\left[\gamma_G - \left(\frac{\omega \lambda_g C_g}{2}\right)^{1/2}\left(\frac{1}{\omega}\frac{\partial T_g}{\partial t} + T_g - \overline{T}\right)\right]$$

gde je $d_1 = 0{,}01$ m i $\gamma_G = \gamma_{RS} + \gamma_{RI} + \gamma_H + \gamma_{LE}$ *sa* $\gamma_{RS}, \gamma_{RI}, \gamma_H, \gamma_{LE}$, koji ozbačavaju flukseve kratkotalasnog zračenja Sunca, dugotalasnog zračenja zemljišta i atmosfere kao i flukseve osetne i latentne toplote, redom.

Ako sve članove za promenu temperature površine zamljišta skupimo na jednoj strani jednačine i sa C_1 označimo izraz

$$C_1 = C_g d_1 + \left(\frac{\lambda_g C_g}{2\omega}\right)^{1/2}$$

dobijamo:

$$C_1 \frac{\partial T_g}{\partial t} = \gamma_{RS} + \gamma_{RI} + \gamma_H + \gamma_{LE} - \left(\frac{\omega \lambda_g C_g}{2}\right)\left(T_g - \overline{T}\right)$$

Pošto su svi članovi na desnoj strani ove jednačine, osim fluksa kratkotalasnog zračenja Sunca, funkcije temperature površine zemljišta T_g, to koristeći sledeću aproksimaciju po kojoj je

$$F\left(T_g^{\tau+\Delta t}\right) = F\left(T_g^{\tau}\right) + \left(\frac{\partial F}{\partial T_g^{\tau}}\right)\left(T_g^{\tau+\Delta t} - T_g^{\tau}\right)$$

dobijamo našu jednačinu u obliku:

$$T_g^{t+\Delta t} = T_g^t + \frac{\gamma_G - \left(\frac{\omega \lambda_g C_g}{2}\right)^{1/2}\left(T_g^t - \overline{T}\right)}{\frac{C}{\Delta t} + \left(\frac{\omega \lambda_g C_g}{2}\right)^2 - \frac{\partial}{\partial T_g^t}(\gamma_G)}$$

Toplotna provodljivost (λ_g) i zapreminski toplotni kapacitet zemljišta (C_g) zavise u značajnom stepenu od sadržaja vlage u zemljištu (W_g), to je dalje učinjen pokušaj da se jednačina za simulaciju temperature tla poveže sa jednačinom za simulaciju sadržaja vlage na tlu.

Za tip zemljišta kod Meteorološke opservatorije u Beogradu (glinovita ilovača) možemo da koristimo sledeće relacije (Matičić, 1970.):

$$\lambda_g = \left(0,5 + 10\, W_g\right) J m^{-2} s^{-1} K^{-1}$$

$$C_g = \left(1,62 + 4,2\, W_g\right) M J m^{-3} K^{-1}$$

Za simuliranje površinskog sadržaja vlage korišćena je Deardorffova jednačina (1977.) oblika:

$$\frac{\partial W_g}{\partial t} = \frac{-C\left(E_g - P\right)}{\rho_W d_1'} - \frac{C_2\left(W_g - W_b\right)}{\tau}, \quad 0 \le W_g \le W_{max}$$

gde su:

C_1 i C_2 bezdimenzionalne konstante,

E_g je isparavanje sa površine zemljišta,

P padavine,

ρ_w je gustina vode u zemljištu,

d_1' je dubina do koje se širi dnevni ciklus vlage (0,1 m),

t je period od jednog dana i

W_b je srednji sadržaj vlage u površinskom sloju zemljišta debljine 0,5 m.

Prvi član na desnoj strani jednačine za simuliranje površinskog sadržaja vlage opisuje sušenje zemljišta pod uticajem značajnog isparavanja ili vlaženja pri jačim padavinama. U slučaju kada je površina zemljišta dovoljno isušena i nema padavina, drugi član na desnoj strani pomenute jednačine teži da na eksponencijalan način obnovi iz dubljih zemljišnih slojeva sadržaj vlage na Zemljinoj površini W_g.

Za bezdimenzionalne konstante koristili smo sledeće vrednosti (Deardorff, 1977.):

$$C_1 = \begin{cases} 0,5 & \frac{W_g}{W_{max}} \ge 0,75 \\ 14 - 22,5\left(\frac{W_g}{W_{max}} - 0,5\right) & 0,15 < \frac{W_g}{W_{max}} < 0,75 \\ 14 & \frac{W_g}{W_{max}} \le 0,75 \end{cases}$$

$$C_2 = 0,9$$

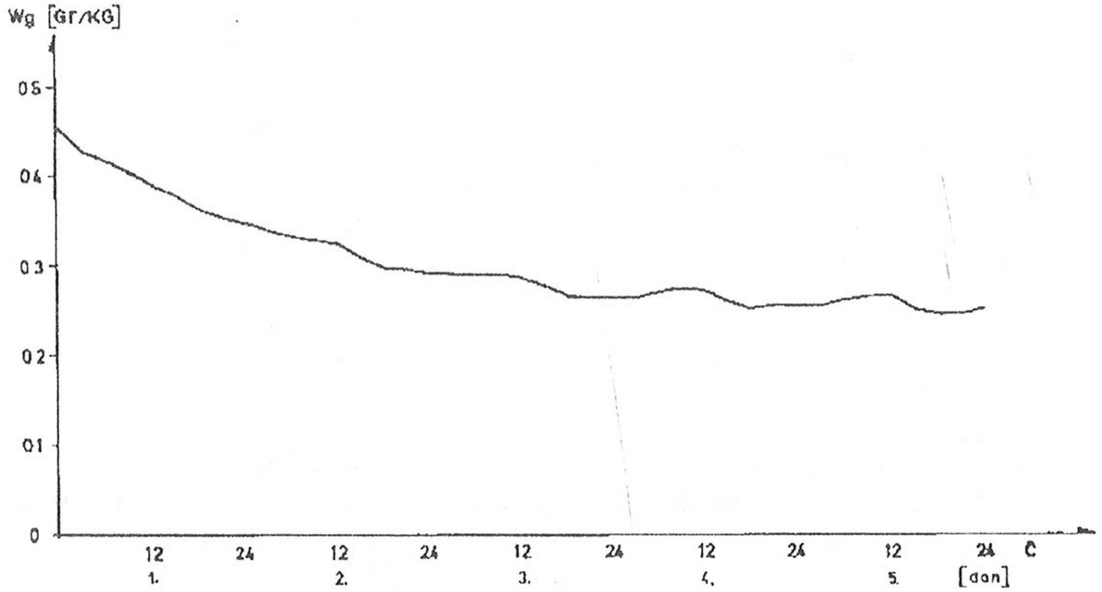
Iz vrednosti koeficijenata C_1 vidimo da se sušenje Zemljine površine (pod pretpostavkom da se u ispitivanom periodu samo na početku dogodi jedna jaka kiša) odvija u tri faze. U prvoj fazi, kada je zemljište zasićeno vlagom, isparavanje se približava potencijalnom iznosu. U drugoj fazi sušenja zemljišta, isparavanje je ograničeno transportom vlage iz dubljih slojeva zemljišta ka površini. U trećoj fazi, kada C_1 ima maksimalnu vrednost u iznosu od 14, isparavanje sa Zemljine površine je odredjeno samo apsorpcijom i transferom vodene pare u zemljištu.

U našem slučaju simulirana je temperatura gole površine zemljišta kod Meteorološke opservatorije u Beogradu u petodnevnom periodu posle jake kiše kada je površina zemljišta zasićena vodom (W_g = 0,45). Za maksimalnu vrednost vlage koju zemljište može da sadrži (W_{max}) i za srednju vrednost vlage (W_b) uzete su vrednosti 0,54 i 0,30, redom.

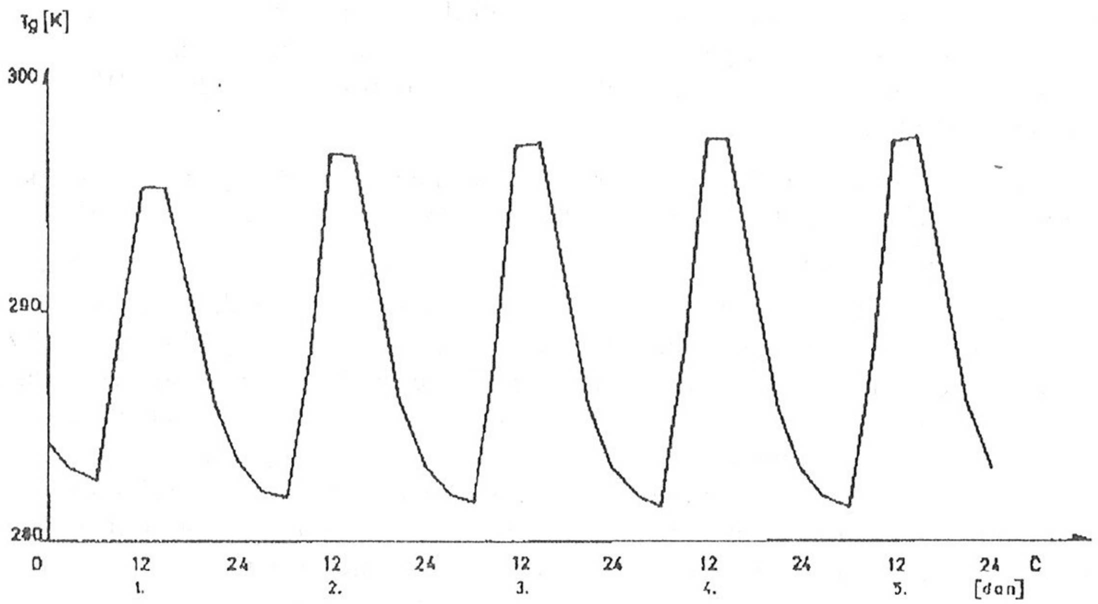
Fluks toplote u zemljištu γ_G računat je na način kao što je prikazano kod Rakovec (1978.) i Vasić (1983.) sa konstantama koje se odnose na Meteorološku opservatoriju u Beogradu.

Dobijeni rezultati petodnevnog ispitivanja pokazani su na sl. 12 i 13. Tokom prvog dana površinski sadržaj vlage, pod uticajem isparavanja, opadne za 22,2% a u toku sledećeg dana za još 11,8% (sl 12). Opadanje saadržaja vlage se trećeg dana smanjuje i iznosi samo 5,7% da bi u zadnja dva dana skoro prestalo. Ovakav trend vlage utiče prvo na smanjenje isparavanja sa površine a zatim na povećanje temperature (sl. 13). Kada je površina zemljišta bila skoro stalno zasićena vodom maksimalna temperatura površine zemljišta iznosila je 294,5 °K. Dobijeni rezultati pokazuju da se maksimalna temperatura Zemljine površine prvog dana simuliranja povećala za 1,1 °C u odnosu na dobijenu maksimalnu temperaturu u uslovima stalnog zasićenja vlagom, a drugog dana za još 1,4 °C. Tokom sledeća tri dana povećanje temperature je bilo znatno manje i sa povećanjem vremena simulacije skoro prestalo. Dobijeni rezultati se dobro slažu sa Deardorffovim (1977.) u prva dva dana simuliranog perioda. Može se pretpostaviti da je dalje neslaganje uslovljeno upotrebom vrednosti bezdimenzionalnih konstanti (C_1 i C_2)

koje se odnose na drugačiji tip zemljišta od onog kod Meteorološke opservatorije u Beogradu.



Slika 12. Simuliran površinski sadržaj vlage W_g



Slika 13. Simulirana temperatura površine zemljišta (T_g)

6. OSUNČAVANJE I OBLAČNOST

6.1. Uticaj osunčavanja i oblačnosti na temperaturu vazduha

Posledjih godina postoji povećan interes za proučavanjem varijacija osunčavanja, oblačnosti i temperature na lokalnoj ili hemisferskoj osnovi. Jedan od mogućih razloga je da evidentan porast CO_2 uslovljava zagrevanje Zemlje što ima negativan povratni efekat u povećenju oblačnosti. Naime, zagrevanje utiče na povećanje isparavanja, odnosno oblačnosti što opet može da uslovi hladjenje Zemlje zbog povećanja refleksije dolazećeg Sunčevog zračenja (veći albedo, Unkašević, 1989.). Problem se ovde komplikuje činjenicom da oblaci takodje zagrevaju zemlju "hvatanjem" odlazećeg infracrvenog zračenja sa Zemlje. Od vrste oblaka kao i od njihove visine zavisi da li će ukupan efekat povećanja oblačnosti biti zagrevanje ili hladjenje Zemljine površine. Mnogi autori su se bavili ispitivanjem atmosferskog CO_2, ali je sažeta diskusija problema promena klime usled povećanja CO_2 detaljno prikazana u radu Manabea (1983.).

Tačna procena varijacija oblačnosti na hemisferskoj osnovi može se dobiti korišćenjem satelita (Saunders, 1985.). Medjutim, ispitivanje varijacija oblačnosti u mikrorazmeri kao što je teritorija grada Beograda može se obaviti korišćenjem merenja i osmatranja sa Zemljine površine.

Prema tome, osnovni cilj ovog odeljka je ispitivanje varijacija dnevnog osunčavanja (1925. - 1991.) i oblačnosti za teritoriju koju pokriva Beograd u toku perioda (1921. - 1991. godina). Treba istaći da ustanovljena varijacija osunčavanja može poslužiti i kao provera subjektivne procene oblačnosti zbog konzistentnosti dugoročnih nizova osunčavanja.

6.2. Korišćeni podaci

Analizirani podaci su tipični za gradsku sredinu jer su registrovani na Meteorološkoj opservatoriji u Beogradu lociranoj u centru grada. Zahvaljujući samom položaju Opservatorije na osnovu registrovanih merenja možemo dobiti potrebne indikacije o mogućoj promeni gradske klime. Osim toga, poslednjih godina postoji povećan interes za proučavanjem varijacija klime radi izrade prognostičkih modela o promenama klime i njenim modifikacijama koje su posledica ljudske aktivnosti.

Vizuelna osmatranja oblačnosti i vrste oblaka počela su u Beogradu 1920. godine, a merenja trajanja osunačavanja pomoću heliografa pet godina kasnije. Osnovni podaci u radu dobijeni su osrednjavanjem dnevnih vrednosti, odnosno srednja godišnja oblačnost i godišnje sume osunčavanja dobijene su na osnovu srednjih mesečnih vrednosti oblačnosti i mesečnih suma osunčavanja (Rezultati

osmatranja Meteorološke opservatorije u Beogradu u periodu 1887. - 1986. godina.).

Srednje mesečne vrednosti oblačnosti računate su iz srednjih oblačnosti izmedju izlaska i zalaska sunca za svaki dan u toku meseca. Nikakva razlika nije pravljena izmedju niskih, srednjih i visokih oblaka. Srednje mesečne vrednosti procenta relativnog osunčavanja (u daljem tekstu označeno samo kao osunčavanje S) odredjene su iz dužine stvarnog osunčavanja u časovima u poredjenju sa dužinom mogućeg osunčavanja u časovima za svaki dan u toku meseca (dobijeno iz astronomskih godišnjaka).

6.3. Srednje sezonsko osunčavanje i oblačnost

Oblačnost izražena u desetinama pokrivenosti neba oblacima iznad Beograda u periodu (1920. - 1991. godina) prikazana je u srednjoj vrednosti u Tabeli 9. Prema dobijenim rezultatima vidi se da srednja oblačnost opada od zimskih prema letnjim mesecima, a zatim opet raste prema zimskim. Najveća oblačnost je u decembru a najmanja u avgustu.

Tabela 9. Srednja vrednost oblačnosti iznad Beograda u desetinama pokrivenosti neba za period 1920. - 1991. godine

	MESECI												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Godišnje
Desetine	6,9	6,6	5,9	5,8	5,5	5,0	3,8	3,6	4,0	4,8	6,6	7,2	5,5

Kao dopuna i provera oblačnosti proučavana je dužina trajanja osunčavanja koja je ne samo značajna za vegetaciju već i za zdravlje ljudi. Naime, poznato je da je bitan činilac za asimilaciju hranljivih materija, kao i drugih životnih funkcija biljnih organizama (porast, cvetanje, klasanje i td.) Sunčeva svetlost. Takodje Sunčevi zraci neposredno uništavaju najveći broj bakterija u vazduhu stvarajući tako zdraviju životnu sredinu za ljude. Dužina trajanja osunčavanja zavisi od geografske širine mesta, nadmorske visine, reljefa zemljišta i stepena oblačnosti. Pri odredjivanju dužine trajanja osunčavanja bilo u mesečnim ili godišnjem iznosu treba uzimati u obzir sledeće vrednosti:

- dužina stvarnog trajanja osunčavanja u mesecu ili godini;
- potencijalno (moguće) trajanje osunčavanja;
- relativno trajanje osunčavanja;
- srednji broj časova osunčavanja na jedan dan.

U Tabeli 10 pokazana je srednja dužina trajanja osunčavanja u časovima za ispitivani period. Kao što se iz ovih podataka vidi, najviše časova sa sijanjem Sunca je u julu a najmanje u decembru.

Za praksu je od značaja relativno trajanje osunčavanja koje se izražava u % od mogućeg (potencijalnog) osunčavanja (Tabela 11).

Tabela 10. Srednja dužina trajanja osunčavanja u Beogradu za period 1925. - 1991. godine u časovima

	MESECI												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Godišnje
1925-91	71,9	93,2	147,7	186,0	230,2	260,7	297,0	276,2	217,1	166,6	88,7	63,5	2098,8
1925-60	73,0	97,0	151,0	194,0	241,0	272,0	312,0	287,0	231,0	166,0	85,0	64,0	2173,0
1961-91	72,4	88,6	142,4	178,2	223,2	247,0	280,3	265,1	204,4	167,9	88,8	62,8	2021,1

Prema podacima iz Tabele 11 u periodu 1961. - 1991. godine relativno trajanje osunčavanje je 62% od mogućeg trajanja samo u najvedrijem mesecu, avgustu, dok je u najoblačnijem mesecu, decembru, samo 23%.

Tabela 11. Relativno trajanje osunčavanja u Beogradu za period 1925. - 1991. godine u % od mogućeg

	MESECI												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Godišnje
1925-91	25	33	41	47	50	55	63	64	58	49	31	24	45
1925-60	26	33	41	48	52	58	66	66	61	49	30	23	46
1961-91	26	31	39	45	49	54	60	62	56	51	32	23	44

Srednji broj časova osunčavanja na jedan dan dat je u Tabeli 12 iz koje se takodje uočava da Sunce u toku dana najviše deset časova sija u julu, a najmanje u decembru, samo dva časa.

Tabela 12. Srednji broj časova osunčavanja na jedan dan u Beogradu za period 1925. - 1991. godina

	MESECI												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Godišnje
1925-91	2,3	3,3	4,8	6,2	7,4	8,7	9,6	8,9	7,2	5,4	3,0	2,0	5,7
1925-60	2,4	3,4	4,9	6,5	7,8	9,0	10,1	9,2	7,7	5,4	2,8	2,1	5,9
1961-91	2,3	3,2	4,6	5,9	7,2	8,2	9,0	8,6	6,8	5,4	3,0	2,0	5,5

U cilju utvrdjivanja mogućih promena trajanja osunčavanja u Beogradu proučavani niz od 66 godina je podeljen na dva niza i to na niz u periodu od 1925. - 1960. godine i niz u periodu 1961. - 1991. godine. U odnosu na prvi niz u drugom nizu se uočava opadanje srednje dužine trajanja osunčavanja i to najviše u julu mesecu (Tabela 10), što u odnosu na relativno osunčavanje iznosi 6% (Tabela 11).

Osetan pad osunčavanja u periodu 1961. - 1991. godine uslovio je smanjenje srednjeg broja osunčavanja na jedan dan najviše u julu i to sa 1,1 čas/dan (Tabela 12) u odnosu na ispitivani niz u periodu 1925. - 1960. godine. Pad osunačavanja i porast oblačnosti registrovan je i u Sjedinjenim Državama Amerike (Angell i dr., 1984.).

Srednje časovne vrednosti oblačnosti (1920. - 1991. godine) i osunčavanja (1925. - 1991. godine) prikazane su u Tabeli 13. Uočava se da se oblačnost menja od 4,1 desetine leti do 6,7 desetina zimi, dok trajanje osunčavanja varira od 2,5 časova po danu zimi do 8,6 časova po danu leti. Srednje godišnje vrednosti oblačnosti i osunčavanja imaju vrednosti 5,5 desetina i 5,8 časova po danu, redom.

Tabela 13. Srednji broj časova osunčavanja na jedan dan u Beogradu za period 1925. - 1991. godina

ZIMA		PROLEĆE		LETO		JESEN		GODINA	
6,7	3,5	5,7	7,5	4,1	8,6	6,5	2,5	5,5	5,8

6.4. Godišnje trajanje osunčavanja i oblačnosti

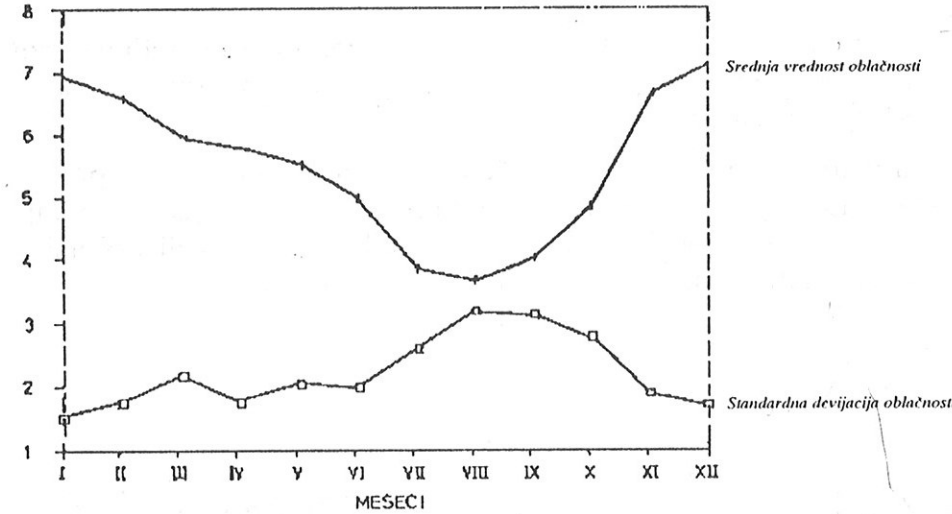
U proteklim odeljcima date su osnovne informacije koje se odnose na godišnju varijaciju relativnog osunčavanja (S) (%) i oblačnosti. Kao što je poznato, S ima maksimum leti a minimum zimi, dok je izmedju ova dva godišnja doba srednja razlika oko 29% što odgovara $3\frac{1}{2}$ časa trajanja osunčavanja, pretpostavljajući trajanje dana do 12 sati. Godišnja varijacija relativnog osunčavanja nije simetrična, tj. opadanje S tokom jeseni je naglije od porasta S u proleće.

U slučaju oblačnosti situacija je sasvim suprotna. Naime, oblačnost je maksimalna u zimskim mesecima a minimalna u letnjim, tako da je i ovde asimetrija uočena u naglom porastu oblačnost u jesen i sporijem padu u proleće (sl. 14).

Varijabilnost relativnog osunčavanja S i oblačnosti izražena je standardnom devijacijom S i oblačnosti računatom za svaki mesec (%). U ispitivanom periodu srednja standardna devijacija relativnog osunčavanja iznosi 1,8% i oblačnosti 2,2%. Standardna devijacija relativnog osunčavanja je za oko 50% veća u kasnu jesen nego u rano proleće pokazujući tendenciju ka relativno velikoj varijaciji iz godine u godinu. Takodje i standardna devijacija S nije simetrična jer pokazuje nagliji rast u toku perioda (avgust - oktobar) nego pad u toku proleća.

U slučaju oblačnosti, godišnji hod standardne devijacije oblačnosti izražene u % zajedno sa srednjom vrednošću oblačnosti je pokazan sl.14. Osim asimetričnosti, standardna devijacija oblačnosti pokazuje slab porast u zimskom

periodu, veliku promenljivost tokom proleća, nagli porast za 35% tokom leta i sporiji pad tokom jeseni.



Slika 14. Srednja vrednost oblačnosti (1/10) i standardna devijacija (%) računata u periodu 1920. - 1991. godina na meteorološkoj opservatoriji Beograd

6.5. Dugoročni trendovi osunčavanja i oblačnosti

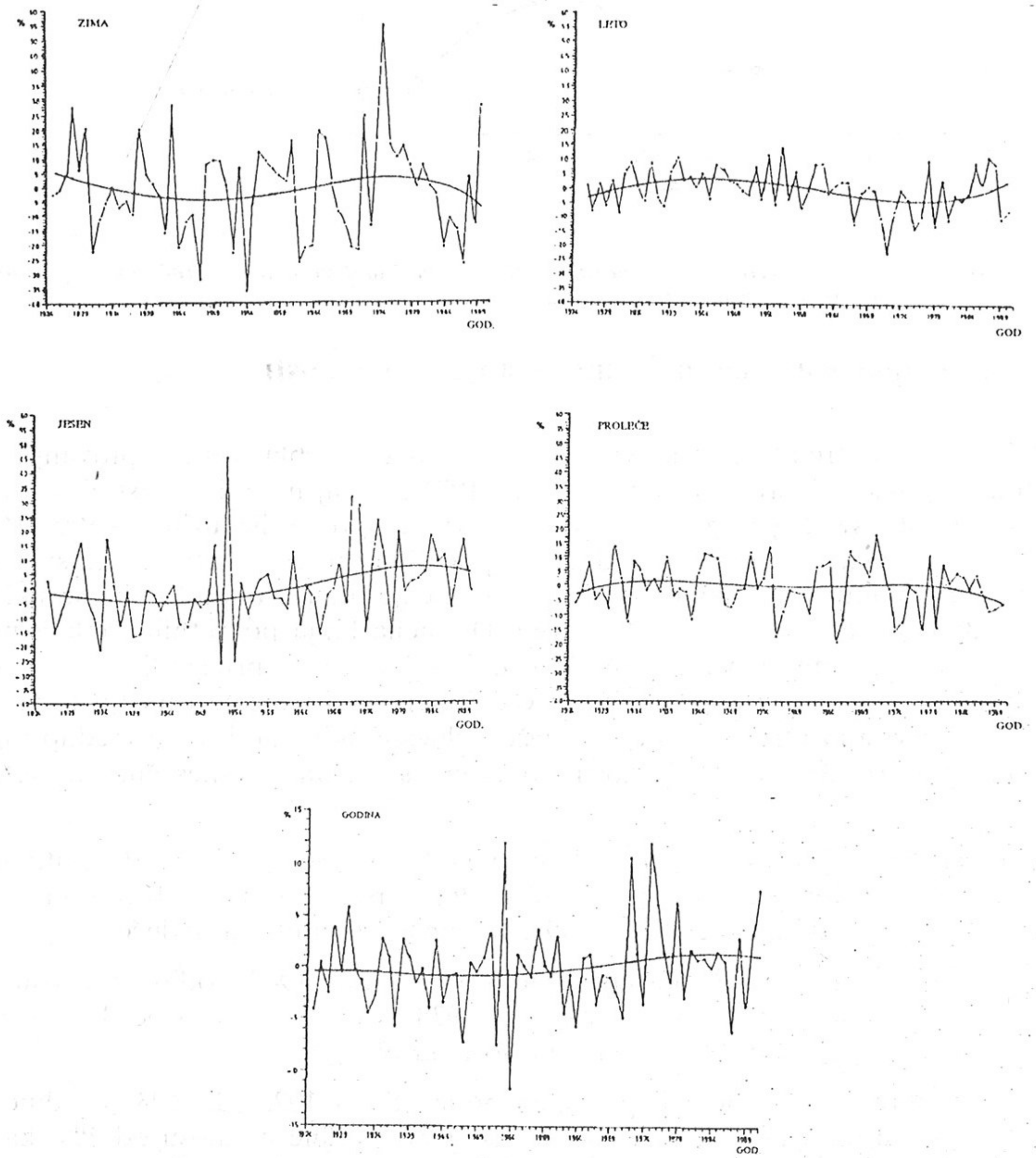
Dugoročni trendovi relativnog osunčavanja i oblačnosti ispitivanji su metodom pokretnih sredina (Vukadinović, 1981.). Ovaj metod se sastoji u tome što se umesto svakog originalnog podatka vremenske serije uzima aritmetička sredina podataka prethodnih i sledećih sa podatkom u sredini. Pokretne sredine daju ujednačeniju liniju toka pojave nego što je daju originalni podaci jer se stalno prilagodjavaju varijaciji vremenske serije. Dobijena linija pokretnih sredina nije linija trenda ali mu se veoma približava. I stoga što se prilagodjava stvarnoj varijaciji, izravnjavajući je u manjoj ili većoj meri, ona ukazuje i na tip funkcije koji treba usvojiti za trend. Pošto se u našem slučaju radi o godišnjim vrednostima relativnog osunčavanja i oblačnosti korišćene su dvanaestomesečne pokretne sredine.

Na sl. 15. je pokazan ovako dobijen godišnji i sezonski trend relativnog osunčavanja izražen kao devijacija od srednje vrednosti u %. Karakteristike trenda S u vremenskom nizu 1925. - 1991. godine u Beogradu su sledeće:

- tokom zime postoji postepen pad S od 1925. do 1948. godine u iznosu od 10%, postepen porast od 1948. do 1978. godine u iznosu od 8% i oštar pad od 1977. do 1991. godine u iznosu od 12%;
- tokom proleća postoji postepen porast S od 1925. do 1937. godine u iznosu od 4%, postepen pad sve do 1980. godine u iznosu od 2%, kada sledi oštriji pad do 1991. godine u iznosu od 3%;

- tokom leta uočava se porast S od 1925. do 1945. godine u iznosu od 5%, zatim sledi postepen pad sve do 1978. godine od 4% i oštar rast do 1991. godine u iznosu od 8%;
- tokom jeseni uočava se postepen pad S od 1925. do 1945. godine u iznosu od 2%, zatim sledi postepen rast do 1968. godine u iznosu od 13% i pad do 1991. godine za 6%.

Porast relativnog osunčavanja tokom letnjeg perioda od 9% u ispitivanom intervalu (1925. - 1991. godina) i pad u toku zime od 14% odgovara smanjenju relativnog osunčavanja svakog dana za približno jedan sat (Angell i Korshover, 1975.) što bi moglo imati uticaja na fenologiju beogradske oblasti.



Slika 15. Dugoročan sezonski i godišnji trend relativnog osunčavanja S izražen kao odstupanje od srednje vrednosti (%)

Trendovi porasta S u toku leta i pada u toku zime dovoljno su veliki da se mogu dovesti u vezu sa varijacijama kod srednje oblačnosti. Pretpostavljen porast albeda tokom zime (Unkašević, 1991.) treba da ima uticaja na klimu lokalnih a možda i hemisferskih razmera.

Na sl. 16. prikazani su godišnji i sezonski trendovi oblačnosti predstavljeni kao odstupanja od srednjih vrednosti u %. Vidljive su sledeće karakteristike trenda u vremenskom nizu (1920. - 1991. godina):

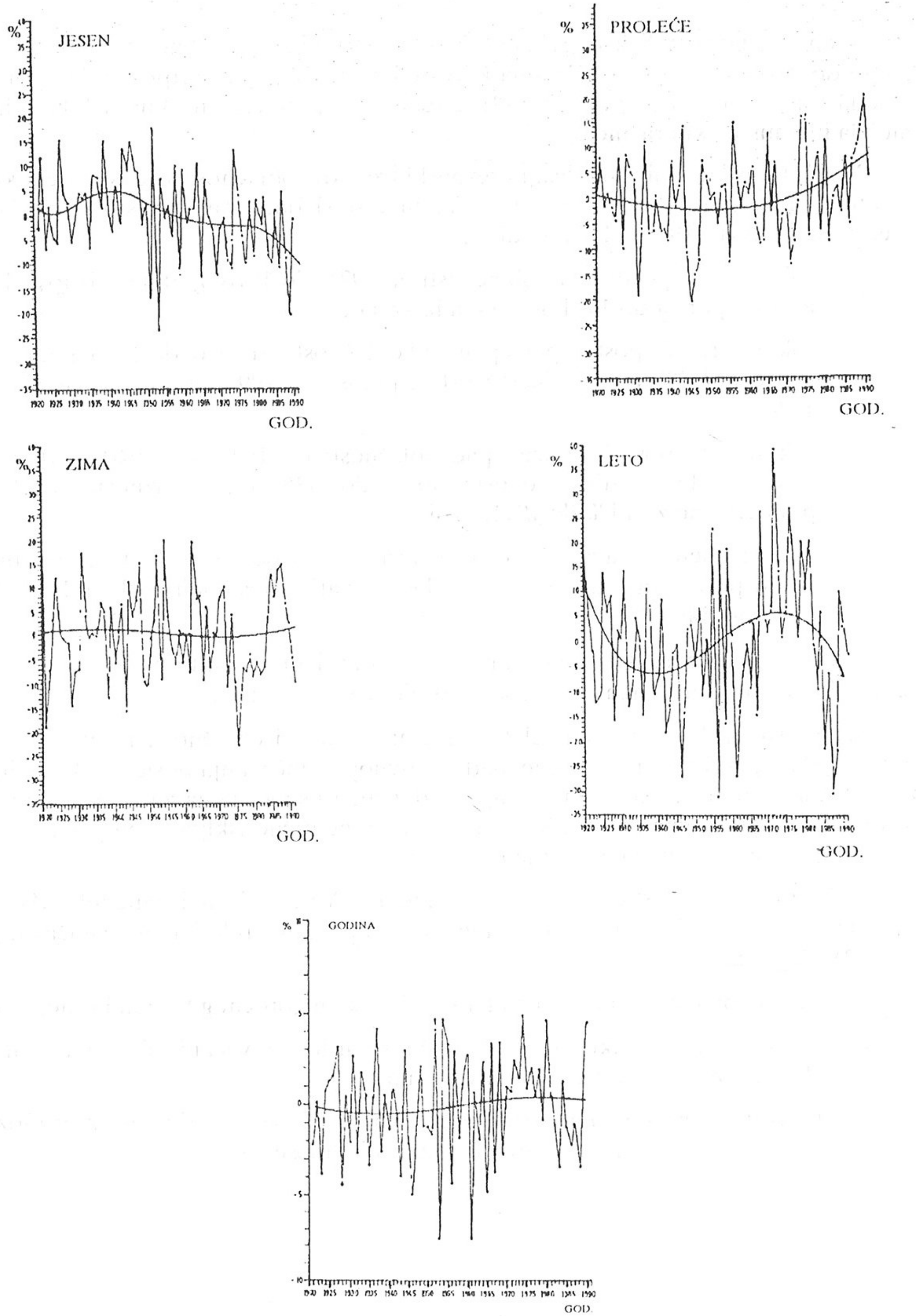
- tokom zime postoji pad oblačnosti od 1924. do 1978. godine u iznosu 1% a zatim porast do 1991. godine u iznosu od 3%;
- tokom proleća postoji postepen pad oblačnosti od 1920. do 1955. godine u iznosu od 4% a zatim nešto oštriji porast do 1991. godine u iznosu od 11%;
- tokom leta postoji izražen pad oblačnosti od 1920. do 1940. godine u iznosu od 15%, zatim sledi oštar porast do 1975. godine u iznosu od 12% i ponovni pad za 14% do 1991. godine;
- tokom jeseni uočava se pad oblačnosti za 2% od 1920. do 1925. godine, zatim porast za 5% do 1940. godine, a zatim postepen pad za 13% do 1991. godine.

Zbog podudarnosti sa vegetacionom sezonom, izražen pad oblačnosti tokom leta treba da bude značajan i sa agrometeorološkog stanovišta.

U godišnjem hodu trenda relativnog osunčavanja i oblačnosti ne uočava se neko značajnije odstupanje. Naime, pad relativnog osunčavanja posle 1984. godine za 0,7%, što odgovara smanjenju trajanja dnevnog osunčavanja za oko 5 minuta nije sigurno impresivna pojava. Stoga je teško kategorično isključiti mogućnost da je ova promena uslovljena efektima instrumenta.

U literaturi (Landsberg, 1981.; Changnon, 1981.; Wilson i Mitchell, 1987.) postoje najmanje tri razumna objašnjenja za opadanje relativnog osunčavanja posle 1970. godine:

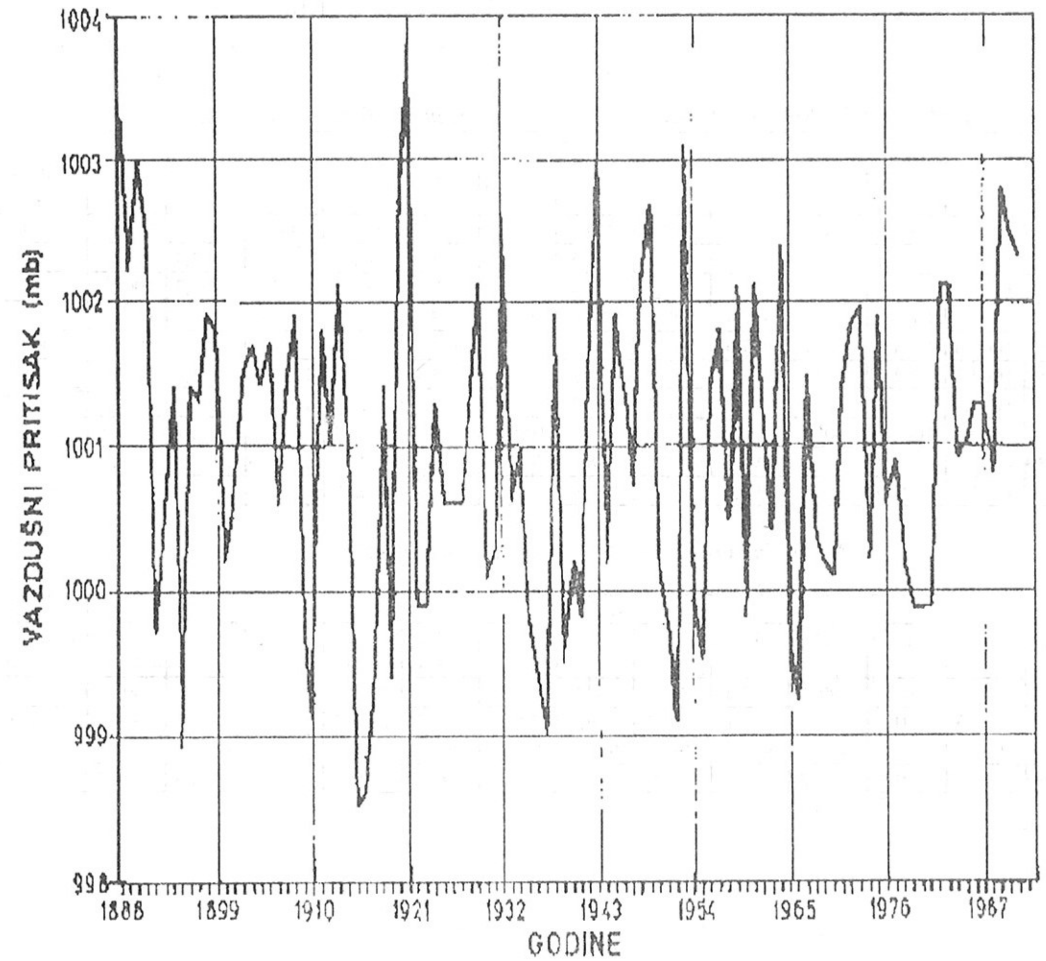
- postoji povećanje oblačnosti kao posledica dugoročnog trenda klime;
- postoji porast tanke cirusne oblačnosti usled povećanja cirusa nastalih zbog letova aviona na velikim visinama;
- postoji porast zagadjenosti u velikim industrijskim gradovima koji može da utiče na opadanje S, naročito u zimskim mesecima.



Slika 16Dugoročan sezonski i godišnji trend oblačnosti izražen kao odstupanje od srednje vrednosti (%)

7. ATMOSFERSKI PRITISAK

Atmosferski pritisak iznad Beograda se razlikuje iz godine u godinu i od sezone do sezone (sl. 17). Tako se prema srednjim desetogodišnjim vrednostima u periodu (1891. - 1991. godina) vidi (Tabela 14) da je srednji atmosferski pritisak reduciran na 0 °C često najviši u januaru i decembru a najniži u aprilu i maju. I standarne normalne vrednosti atmosferskog pritiska pokazuju sličan trend.



Slika 17. Srednji godišnji atmosferski pritisak u Beogradu u periodu 1888. - 1991. godina

Iz Tabele 40 (u Prilozima) se takodje može videti da srednja mesečna vrednost atmosferskog pritiska opada od januara do aprila, da bi potom rasla do decembra. Najveća srednja mesečna vrednost atmosferskog pritiska u iznosu od 1017,4 mb registrovana je u februaru 1891. godine, a najmanja u iznosu od 989,9 mb u januaru 1915. godine, dok najveće i najmanje terminske vrednosti mogu biti daleko iznad i ispod navedenih vrednosti.

Iako u zimskim mesecima u Beogradu vlada relativno visok atmosferski pritisak, dnevna kolebanja su znatno veća nego i u letnjim mesecima. Ovo nas upućuje na zaključak da se u zimskim mesecima vrši brža i oštra smena toplih i hladnih vazdušnih masa iznad Beograda.

Kao što je uočeno, tokom proleća, atmosferski pritisak se spušta do minimuma u godini sa izraženim dnevnim kolebanjima. U julu, avgustu i početkom septembra atmosferski pritisak nije visok, ali su mu dnevna kolebanja veoma mala, što ukazuje na relativno stabilnu atmosferu. Tokom jeseni, atmosferski pritisak opet raste, a uporedo sa njegovim porastom povećavaju se takodje i dnevna kolebanja, i to utoliko više ukoliko se dublje zalazi u jesen.

Tabela 14. Srednje desetogodišnje vrednosti atmosferskog pritiska (mb)

	MESECI												
PERIOD	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Srednja za period
1891-1900	1002,8	1002,7	998,7	998,5	997,4	999,0	998,8	1000,5	1002,3	1001,9	1005,1	1004,0	1001,2
1901-1910	1007,1	1001,1	999,5	997,9	999,1	998,5	999,0	1000,4	1002,5	1002,6	1002,4	1001,7	1001,0
1911-1920	1002,3	1003,9	998,4	997,6	999,2	999,4	998,5	999,4	1001,5	1002,6	1002,7	1002,0	1000,6
1921-1930	1005,5	1003,6	1001,2	996,4	998,5	998,8	999,4	999,4	1002,1	1002,3	1002,0	1002,7	1001,0
1931-1940	1003,6	1001,1	999,7	997,5	997,7	999,0	998,8	999,4	1001,6	1000,8	1003,2	1003,0	1000,5
1941-1950	1002,7	1001,5	1001,8	1000,4	999,3	1000,0	999,4	999,8	1002,8	1003,6	1001,8	1003,4	1001,4
1951-1960	1001,1	1000,4	1000,6	999,3	999,2	999,4	999,0	999,2	1002,1	1003,4	1003,2	1001,8	1000,7
1961-1970	1003,2	1000,3	1000,2	997,8	999,0	999,7	1000,0	999,7	1002,4	1004,2	1001,1	1001,6	1000,7
1971-1980	1003,4	1001,2	1000,0	996,5	998,5	998,5	998,9	1000,2	1002,6	1003,2	1003,0	1004,6	1000,9
1981-1990	1004,2	1002,9	1000,6	998,0	997,8	999,0	1000,4	1000,0	1002,0	1004,3	1003,4	1003,2	1001,4

Normalne vrednosti atmosferskog pritiska (mb)

	MESECI												
PERIOD	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Srednja za period
1901-1930	1005,0	1002,9	999,7	997,3	998,9	998,9	999,0	999,9	1002,0	1002,5	1002,4	1002,7	1000,9
1931-1960	1002,5	1001,0	1000,7	999,1	998,7	999,5	999,1	999,5	1002,2	1002,6	1002,7	1002,7	1000,9
1961-1990	1003,6	1001,5	1000,2	997,4	998,4	999,1	999,2	999,9	1002,3	1003,9	1002,5	1002,8	1000,9
1901-1990	1003,7	1001,8	1000,2	997,9	998,8	999,2	999,3	999,7	1002,1	1003,0	1002,5	1002,7	1000,9

8. VETAR

8.1. Uticaj vetra na druge klimatološke elemente

Vetar prenosi sa sobom karakteristične osobine one klime odakle duva. Tako, ako dolazi sa mora i okeana, vetar donosi osobine morske klime, a ako duva iz dubokih kontinentalnih predela, vetar donosi osobine kontinentalne klime.

Vetar pre svega utiče na temperaturu i vlažnost vazduha a zatim na oblačnost i padavine. Uticaj vetrova na pojedine klimatske elemente vidi se iz Tabele 15 (Milosavljević, 1972.), u kojoj su prikazana odstupanja pojedinih klimatskih elemenata od normalnih vrednosti pri duvanju vetrova iz raznih pravaca u Beogradu za period (1920. - 1945. godina).

Tabela 15. Odstupanje temperature (Δt), apsolutne vlažnosti (Δe), relativne vlažnosti (Δu) i oblačnosti (Δn)[1] pri raznim vetrovima od normalnih vrednosti u Beogradu (Milosavljević, 1972)

		N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	C
ZIMA	Δt	-2,2	-1,7	-1,8	0,0	0,6	0,3	1,9	3,9	5,5	6,7	2,8	1,1	0,7	1,2	1,0	1,0	1,0
	Δe	-0,5	-0,2	0,3	0,0	-0,1	0,2	0,3	0,6	0,8	0,9	0,4	0,3	0,1	0,4	0,3	0,4	0,2
	Δu	3,0	6,0	5,0	0,0	1,0	4,0	6,0	9,0	-12,0	-16,0	-5,0	2,0	4,0	2,0	3,0	2,0	4,0
	Δn	14,0	16,0	16,0	0,0	3,0	4,0	-10,0	6,0	-3,0	-9,0	-2,0	10,0	12,0	8,0	13,0	11,0	-3,0
PROLEĆE	Δt	-1,9	-0,7	0,0	0,4	0,2	0,1	1,1	3,3	3,5	3,9	2,4	0,6	1,0	1,1	1,8	1,2	0,5
	Δe	-0,8	0,1	-0,1	0,4	0,2	-0,1	0,4	0,3	0,2	0,4	0,5	0,3	0,1	0,4	0,7	0,3	0,2
	Δu	0,0	1,0	2,0	0,0	0,0	3,0	-3,0	-9,0	-9,0	10,0	4,0	2,0	6,0	2,0	2,0	0,0	3,0
	Δn	5,0	7,0	2,0	5,0	0,0	-1,0	-1,0	6,0	2,0	-1,0	10,0	11,0	11,0	12,0	12,0	4,0	12,0
LETO	Δt	0,9	1,5	2,3	2,7	1,4	2,6	2,1	4,9	4,4	2,9	0,8	-0,3	-2,3	-1,1	-0,4	0,0	-0,7
	Δe	0,8	-0,6	0,3	0,2	0,2	0,5	0,1	0,7	0,5	0,3	0,3	0,2	0,0	0,4	0,7	-0,8	0,3
	Δu	-4,0	-8,0	10,0	-8,0	6,0	8,0	-7,0	-13,0	-12,0	-9,0	1,0	3,0	9,0	2,0	2,0	4,0	6,0
	Δn	6,0	4,0	2,0	11,0	1,0	-13,0	13,0	-1,0	1,0	1,0	4,0	9,0	17,0	16,0	16,0	13,0	11,0
JESEN	Δt	-1,4	1,5	1,4	1,1	0,0	0,1	1,5	4,1	4,6	4,8	3,1	0,1	1,7	-1,2	1,2	1,4	1,0
	Δe	-0,6	0,2	0,3	0,1	0,2	0,4	0,2	0,7	0,9	1,1	0,5	0,2	0,4	0,5	0,6	0,6	0,2
	Δu	1,0	5,0	-5,0	-2,0	3,0	-5,0	-5,0	-11,0	-13,0	-9,0	-7,0	2,0	5,0	2,0	2,0	0,0	5,0
	Δn	19,0	7,0	4,0	13,0	4,0	-14,0	9,0	-6,0	3,0	1,0	9,0	20,0	20,0	16,0	20,0	18,0	7,0

[1] Δn je izraženo u %

Kao što se i očekivalo, u toku zime su najhladniji severni i severoistočni vetrovi, a najtopliji su iz južnog kvadranta i u svim preostalim sezonama. Temperatura vazduha je zimi pri tihom vremenu niža od normalne temperature zbog velikog izračivanja Zemljine površine i hladjenja prizemnog vazduha.

U toku proleća su najhladniji severni i severozapadni vetrovi. Medjutim, u letnjim mesecima i tokom jeseni su najhladniji zapadni vetrovi.

Odstupanja ostalih klimatskih elemenata dosta zavise od temperature. Tako je pri hladnim severnim vetrovima apsolutna vlažnost obično manja od normalne a relativna vlažnost veća od normalne. Pri duvanju južnih, toplih vetrova situacija je obrnuta, dok se oblačnost u oba slučaja menjala kao i relativna vlažnost vazduha.

Iako se javlja kao element klime, brzina vetra utiče na intenzitet isparavanja sa slobodne vodene površine, zemljišta i biljnog pokrivača, a odredjuje i termičke uslove čovečijeg tela. Niske temperature vazduha pri tihom vremenu se lakše podnose nego pri jačim vetrovima kao što je košava, koja je karakteristična za Beograd.

8.2. Osnovne karakteristike vetra u Beogradu

Statistička obrada polja vetra uglavnom se svodi na analizu čestine pravca vetra (%o), na osnovu koje se izradjuje ruža vetra, kao i na analizu srednjih brzina vetra za svaki od 16 pravaca (sl. 18).

U Tabeli 41 (u Prilozima) date su čestine pravaca vetra i tišina (%o) u Beogradu u periodu (1888. - 1991. godina). Pored znatnog broja tišina (183%o) za Beograd je karakterističan jugoistočni vetar (145%o) poznat kao košava. Najveću čestinu ovaj vetar ima u hladnoj polovini godine (od 158%o do 189%o), dok u toploj polovini godine, a naročito u junu i julu u Beogradu najveću čestinu imaju vetrovi iz zapadnog pravca.

U Tabeli 42 (u Prilozima) prikazane su srednje brzine vetrova (m/s) u istom periodu u Beogradu. Karakteristično je da se srednji najjači vetrovi javljaju u martu i to u vrednosti od 5,9 m/s iz pravca ESE i 4,8 m/s iz SE pravca.

Na osnovu godišnjih vrednosti čestina i brzina vetra nacrtana je ruža vetra i histogram brzina (sl. 18) koji pokazuje da je srednja godišnja brzina vetra iz pravca SE 3,7 m/s.

Srednji godišnji maksimalni udari vetra (m/s) prikazani za 16 različitih pravaca da ti su u Tabeli 16. Interesantno je da se maksimalne brzine vetra od 35,9 i 31,6 m/s vezuju za ESE kao i za WNW pravac vetra.

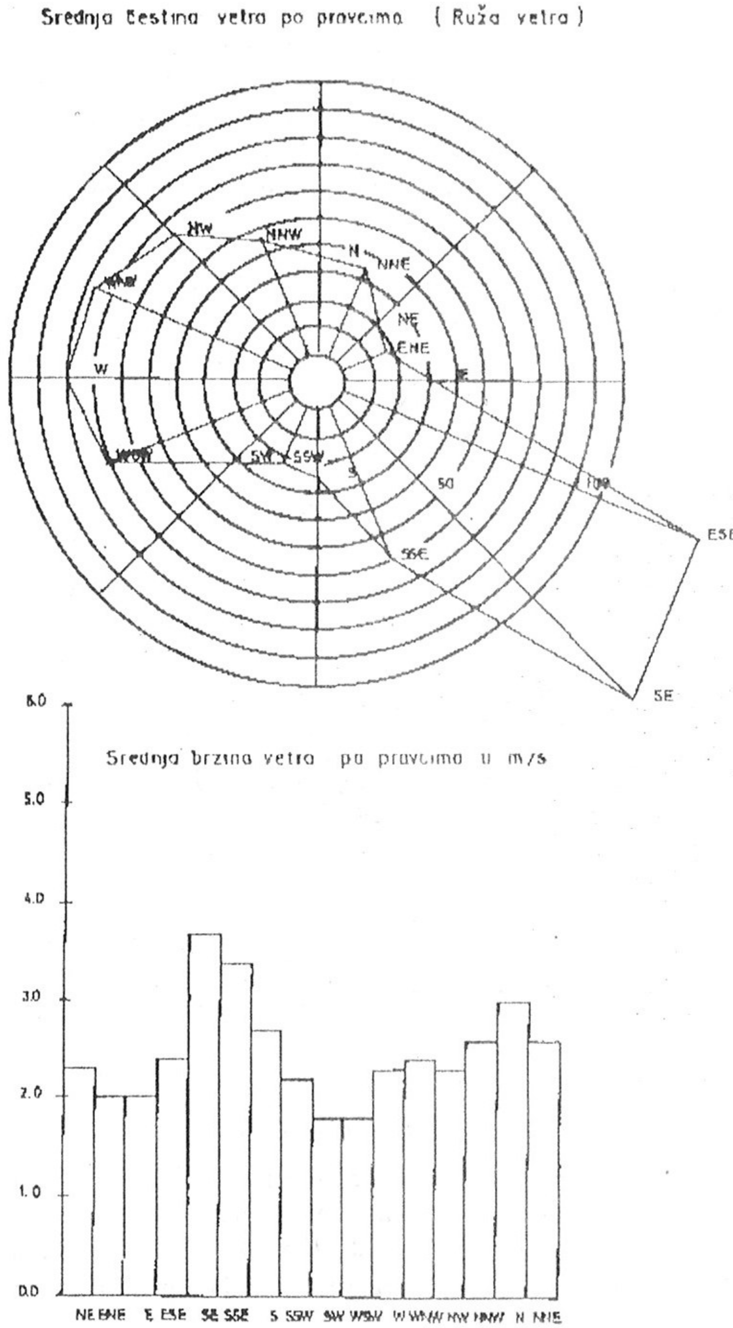
Tabela 16. Srednji godišnji maksimalni udari vetra (m/s)

Pravac	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WN	NW	NNW
Brzina	24,6	30,4	18,7	31,2	28,2	35,9	29,6	24,3	25,8	22,4	24,0	24,5	29,0	31,6	28,4	25,7

Vetar iz jugoistočnog pravca je karakterističan za severoistočni deo Srbije i predstavlja pojavu mezometeoroloških razmera u tom delu Balkana.

U slučajevima kada se razvija ciklon u zapadnom Sredozemlju ili se približava već razvijeni ciklon preko zapadne Evrope, košava ima više južni smer, fenskog je karaktera i zove se topla košava. Medjutim, pri postojanju centra anticiklona iznad iztočnog dela Evrope, košava u Beogradu ima više istočni smer, burskog je karaktera i poznata je kao hladna košava. U ovom slučaju košava može da dostiže orkansku jačinu sa brzinom do 30 m/s. Fizičke osobine košave detaljno je obradio

Milosavljević (1950. godine), dok se vertikalnom strukturom košave u Beogradu bavio Vukmirović (1974., 1975., 1985. godine). Vukmirović (1985.) je analizirao dva slučaja umerene košave koji su se javili u periodu mart - april 1982. godine a čije će karakteristike biti dalje izložene u kratkim crtama.



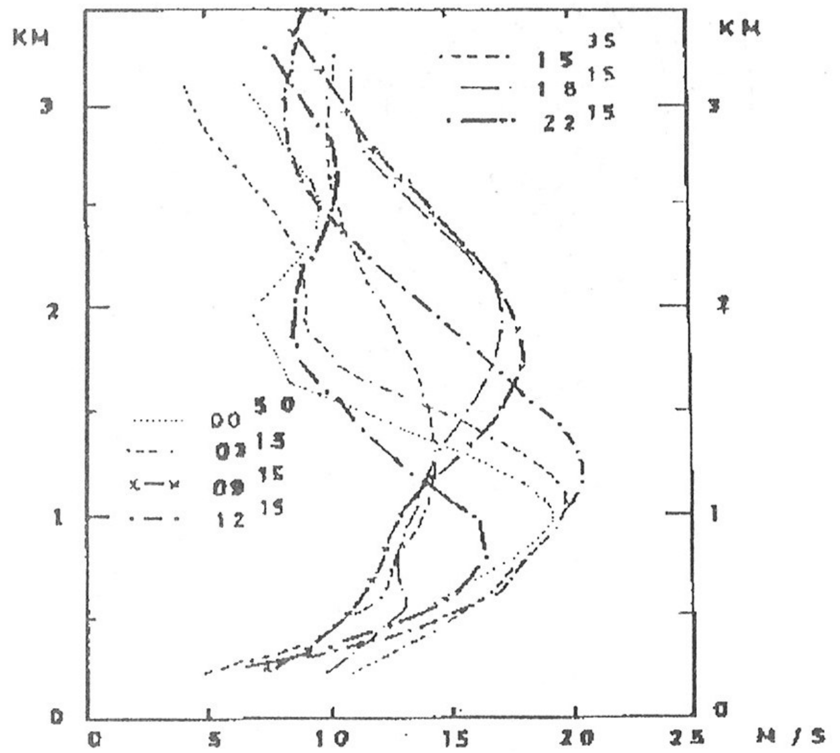
Slika 18. Srednja čestina i brzina vetra po pravcima u Beogradu u periodu 1948. - 1977. godina

U prvom slučaju košava je duvala od 19. do 23. marta i bila je u vezi sa pojavom ciklogeneze na zavetrenoj strani Alpa i prolaskom ciklona i fronta iznad

Slovenije. U drugom slučaju od 1. do 3. aprila duvala je košava anticiklonalnog tipa i bila je u vezi sa razvojem jakog anticiklona iznad srednje Evrope.

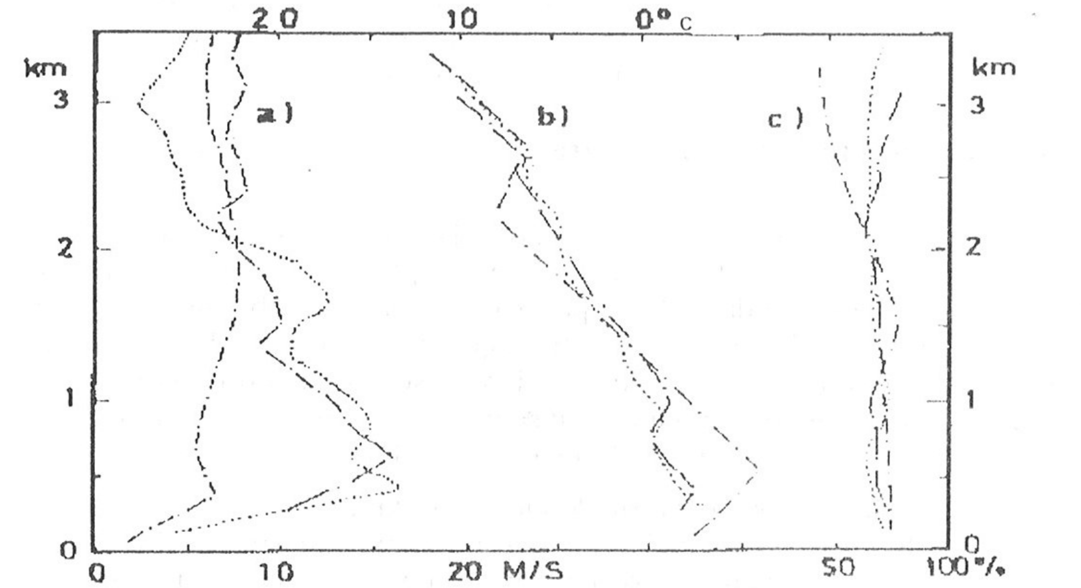
Za ispitivanje prostorno vremenskog razvoja košave kao kompleksne pojave, Vukmirović (1985.) je koristio sinoptičko-aerološki metod analize meteoroloških polja prizemne troposfere.

Maksimalni udari vetra osmotreni su u različito vreme u različitim mestima tokom 24 časa u oblasti sa košavskim pravcem vetra. Brzina vetra i maksimalni udari su bili veći u slučaju ciklonalne nego anticiklonalne košave. Dnevni hod profila vetra iznad Beograda u slučaju ciklonalne košave pokazan je na sl. 19. Uočen je maksimalni udar vetra od 20 m/s oko podne na visini od 1000 m iznad Beograda.



Slika 19. Dnevni hod vertikalnih profila vetra iznad Beograda 23. 03 1982. godine (Vukmirović, 1985.)

Za košavu je karakteristično i vertikalno smicanje vetra. U slučaju anticiklonalne košave na vertikalno smicanje vetra više utiče promena brzine vetra sa visinom nego promena pravca vetra (sl. 20a). U oba ova slučaja pojave košave, pravac vetra na nivou maksimalnog vetra iznad Beograda bio je u intervalu 110 - 120 ° (Vukmirović, 1985.).



Slika 20. Vertikalni profili brzine vetra (a), temperature (b) i relativne vlažnosti (c) iznad Ćuprije (---), Beograda(-) i Segedina (--) u 06 časova 02. 04 1982. godine (Vukmirović, 1985.)

Uporedo sa turbulentnošću polja vetra, pojava košave je u vezi i sa talasnim kretanjem usled orografije (Ćupić i dr., 1985.). Interesantno je polje atmosferskog pritiska pri pojavi košave. U slučaju ciklonalne košave tipično je pojačanje horizontalnig barskog gradijenta iznad Karpata i balkanskih planina u Srbiji kada je pritisak na zapadu veoma nizak, što je jedan od osnovnih faktora geneze košave (Čadež, 1964.; Milosavljević, 1976.). U zavetrenoj oblasti duvanja košave, polje pritiska se menjalo pod uticajem doline pritiska i prolaska ciklona praćenog frontom.

U drugom slučaju, košavska cirkulacija se javila usled obrazovanja i jačanja barskog grebena iznad severoistočnog dela Srbije sa osom istok - zapad. Jugoistočno strujanje iznad Balkana bilo je uslovljeno anticiklonom na visini i ciklonskom cirkulacijom iznad južne Italije u prizemlju.

Prizemno polje temperature u Beogradu u oba razmatrana slučaja nije se značajno razlikovalo od temperature uslovljene datom sinoptičkom situacijom. Tako je na visini, ispod nivoa maksimalnog vetra, uočena adijabatska raspodela temperature a u prizemnom sloju nadadijabatska. Iznad nivoa maksimalnog vetra postojao je stabilan sloj vazduha u visini 500 do 2000 m (sl. 20b). U ovom sloju često se mogu javiti jedna ili dve inverzije. Ove uzdignute inverzije mogu se dovesti u vezu sa prolaženjem fronta, advekcijom toplote u prednji deo ciklona ili spuštanjem vazduha u anticiklonu. Interesantno je da su inverzije intenznivnije u slučaju anticiklonalne košave i da mogu da se jave i u prizemlju (sl. 20b).

Vertikalna raspodela relativne vlažnosti u donjoj troposferi bila je u oba slučaja skoro ista i iznosila je od 60 do 90%. U prvom kilometru visine, relativna

vlažnost se malo menjala, da bi na visini od 1500 m došlo do naglog pada vlage usled spuštanja vazduha (sl. 20c). Može se zaključiti da košava umerene jačine ne utiče značajno na relativnu vlažnost donje troposfere.

8.3. Uticaj grada na polje vetra

Uticaj grada na okolno polje vetra može da bude na promenu brzine i pravca vetra u samom gradu. Tako gradsko ostrvo toplote kao i povećana prizemna hrapavost u gradu mogu da utiču na povećanje (smanjenje) brzine vetra koji ulazi u grad. Chandler (1965.) je, ispitujući strujanje u Londonu, utvrdio da postoji neka kritična brzina okolnog vetra ispod (iznad) koje se brzina vetra u gradu povećava (smanjuje). Smanjenje se dovodi u vezu sa povećanom površinskom hrapavošću u gradu, a povećanje sa uticajem gradskog ostrva toplote.

Analizirajući podatke o vetru dobijene sa stanica u centru Londona i na aerodromu Heatrow, Lee (1977.) je utvrdio smanjenje srednje brzine vetra i skretanje zapadnog strujanja ulevo na privetrenim delovima grada. Pri istočnom strujanju, skretanje vetra je bilo karakteristično za zavetrenu stranu grada. Ispitivanja vetra su obavljana i u Columbusu, Ohio, (Angell i dr., 1971.), kada su se informacije o noćnim strujanjima iznad grada dobijale pomoću balona koji su se kretali na konstantnoj visini od 150 m iznad grada. Dobijeni podaci su ukazivali na anticiklonalno skretanje vetra u toku noći iznad grada, zbog izraženog uticaja gradskog ostrva toplote.

Razlika u polju vetra grad - okolina u mnogome zavisi i od doba dana, pravca i brzine okolnog vetra. Tako je za noćne uslove u New Yorku utvrdjeno ciklonsko skretanje vetra u privetrenom delu grada u odnosu na okolinu i pri velikim brzinama vetra kao i anticiklonalno skretanje pri malim brzinama vetra (Bornstein i Johnson, 1977.).

Djordjević (1987.) je analizirala časovne vrednosti brzine i pravca vetra merene na 10 m iznad tla na Meteorološkoj opservatoriji u Beogradu i Surčinu na aerodromu u trogodišnjem periodu (1968. - 1970.godine) čiji će rezultati ovde biti ukratko prikazani.Uporedjivanje istovremenih pravaca vetra u gradu i okolini radjeno je u 0100 UTC i 1300 UTC pri odredjenim "kritičnim" brzinama vetra. Da bi se odredila "kritična" brzina, odnosno brzina vetra u okolini ispod (iznad) koje bi se brzina vetra u gradu povećavala (smanjivala) računate su za svaki dan procentualne razlike (Shreffler, 1979.) u obliku:

$$S_i = 100\frac{V_g - V_0}{V_0},$$

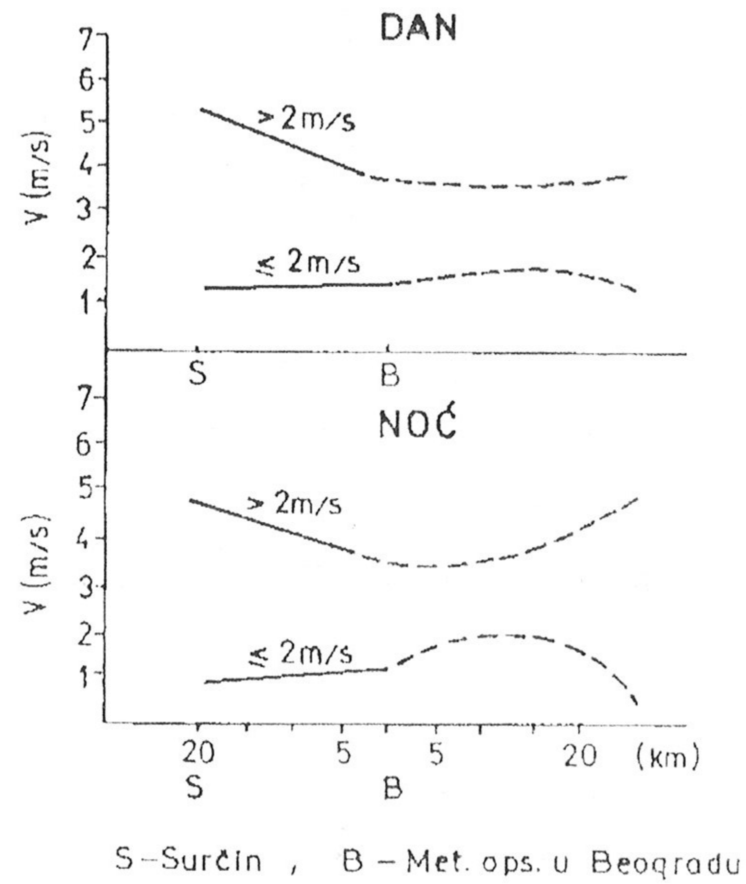
gde je:

V_g srednja časovna brzina vetra u gradu i

V_0 srednja časovna brzina vetra na aerodromu.

Na osnovu promene znaka srednje razlike ($\bar{S} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} S_i$) utvrdjeno je da je pri istočnom vetru na aerodromu "kritična" brzina 3 m/s a pri zapadnom vetru, manja, tj. 2 m/s.

Pošto je u ispitivanom periodu preovladjivalo zapadno strujanje to se sa sl. 21 može videti porast brzine vetra od okoline ka centru grada pri slabom strujanju i opadanje pri jačem strujanju. Isprekidanim linijama je označena mogućnost promene brzine u zavetrenom delu grada.

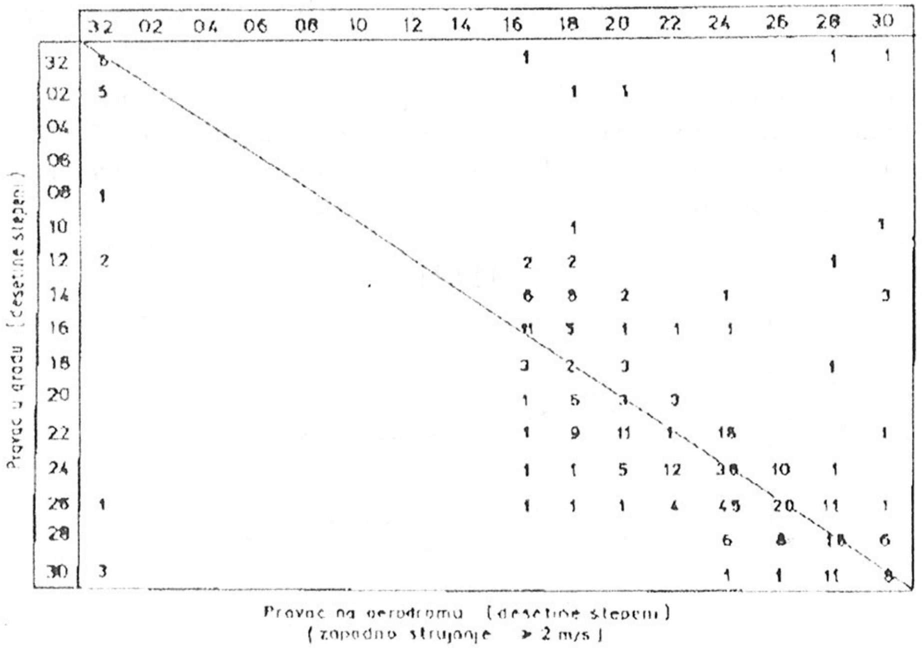


Slika 21. Moguća promena brzine vetra u zavisnosti od doba dana u zavetrenom delu Beograda (Djordjević, 1987.)

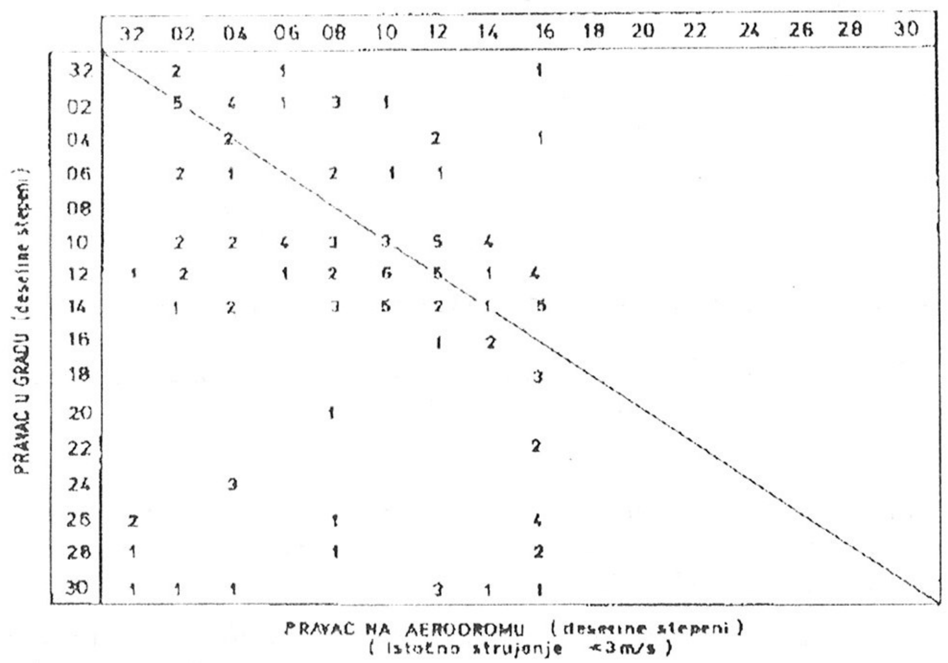
Zatim su dalje u radu Djordjević (1987.) uradjene tabele (sl. 22 i 23) istovremenih pravaca vetra, na Meteorološkoj opservatoriji i aerodromu koje omogućavaju računanje sledećih parametara:

a) procenat S istovremenog duvanja vetra iz odredjenog pravca na obe stanice, dobijen iz sume dijagonalnih čestina u odnosu na ukupan broj slučajeva;

b) stepen slaganja pravaca vetra SD u intervalu ±30° od referentnog pravca dobijen iz sume tri klase čestina iznad i ispod dijagonale prema ukupnom broju slučajeva;



Slika 22. Tabela istovremenih pravaca vetra na Surčinu i Meteorološkoj opservatoriji u Beogradu 1968. - 1970. godine, 0100 UTC (Djordjević, 1987.)



Slika 23. Tabela istovremenih pravaca vetra na Surčinu i Meteorološkoj opservatoriji u Beogradu 1968. - 1970. godine, 0300 UTC (Djordjević, 1987.)

c) stepen skretanja vazduha D kada su istovremeni pravci na obe stanice izmedju ±30°, dobijen iz razlike suma tri klase iznad i tri klase ispod dijagonale prema ukupnom broju slučajeva, i

d) naglo skretanje vetra R dobijeno iz sume čestina onih pravaca koji su više od ±30° udaljeni od referentnog pravca prema ukupnom broju slučajeva.

Tabela 17. Vrednosti S, SD, D i R za date brzine i pravce vetra (Djordjević, 1987.)

	Zapadni pravac vetra			Istočni pravac vetra	
	0100 GMT	1300 GMT		0100 GMT	1300 GMT
V < 2 m/s			V < 3 m/s		
S%	16,4	8,8	S%	18,2	12,8
SD%	60,7	75,5	SD%	72,3	63,2
S+SD%	77,7	84,3	S+SD%	90,5	76,0
D%	-17,7	4,5	D%	-7,5	0,8
R%	22,8	15,5	R%	9,5	24,0
Broj slučajeva	79	45	Broj slučajeva	148	125
V >= 2 m/s			V >= 3 m/s		
S%	32,9	33,1	S%	38,2	35,0
SD%	61,4	63,6	SD%	60,1	63,6
S+SD%	94,3	96,7	S+SD%	98,3	98,6
D%	-13,4	-6,8	D%	-9,7	3,8
Broj slučajeva	350	528	Broj slučajeva	246	317

Pojava je uočena pri vrlo slabom vetru u okolini sa izraženim kolebanjem pravca. Vrednosti navedenih parametara prikazane su u Tabeli 17. Uočava se da je procenat čestine istovremenih pravaca vetra koji se nalazi u intervalu ±30° (S+D) na Meteorološkoj opservatoriji i aerodromu uglavnom isti pri zapadnim i istočnim vetrovima.

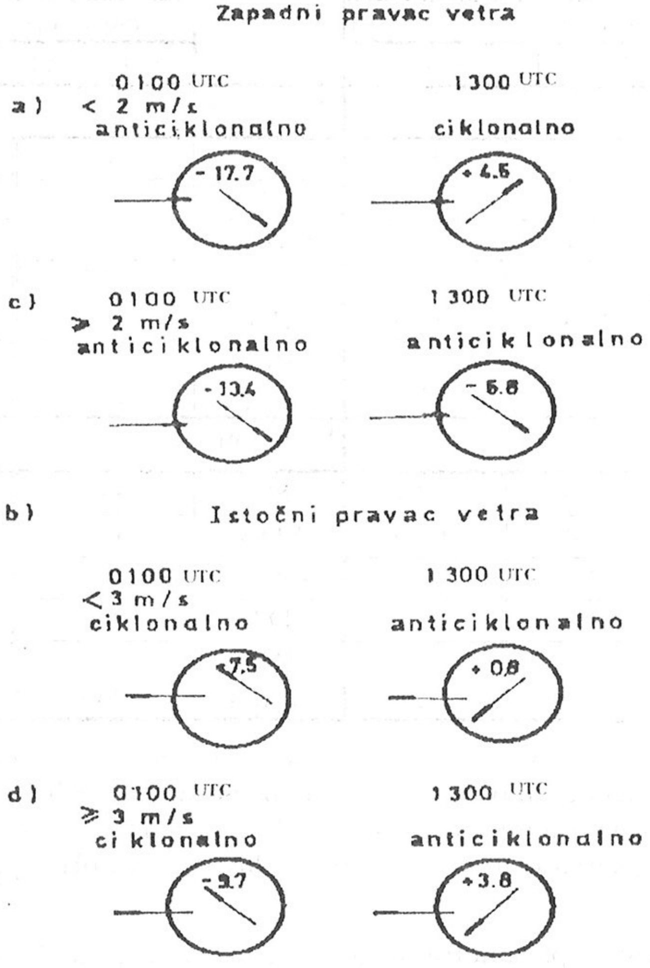
Veće razlike ovog parametra izmedju dana i noći javljaju se pri slabim brzinama i istočnom strujanju, što može biti uslovljeno većom turbulencijom vazduha u gradu.

Najvažnija karakterisitka u Tabeli 17 za nas je procenat skretanja pravca vetra D izmedju Meteorološke opservatorije u Beogradu i aerodroma, koje zavise od doba dana i pravca duvanja vetra - u grad (zapadni pravac) ili - iz grada (istočni pravac). Noću, pri različitim brzinama zapadnih vetrova, postoji tendencija ka anticiklonalnom skretanju kao i danju pri većim brzinama (sl. 24). medjutim, danju, pri malim brzinama uočava se ciklonalno skretanje vetra u samom gradu.

Pošto povećana turbulencija utiče na približavanje pravaca vetra u sloju trenja u pravcu izbora izobara, to je pri jačim istočnim vetrovima na Surčinu i jačem

mešanju, ugao skretanja manji i iznosi -6,8° (vidi Tabelu 17). Tako se dešava da, umesto da vetar, zbog povećanog trenja pri ulasku u grad skreće levo, tj. ciklonalno, zbog povećane turbulencije skreće desno, tj. anticiklonalno.

Pri istočnom strujanju i različitim brzinama vetra u okolini, noću, vetar koji pokreće iz centra grada nestabilan vazduh (ostrvo toplote) ka stabilnijoj okolnoj atmosferi i uprkos smanjenom površinskom trenju, skreće ciklonalno. Medjutim, danju, pri različitim brzinama i istočnom strujanju, vetar, zbog smanjenog trenja, na izlazu iz grada, skreće anticiklonalno (sl. 24).



Slika 24. Tendencija skretanja vetra izmedju Surčina i Meteorološke opservatorije u Beogradu, 1968. - 1970. godina. Vetrovi sa zapadnim pravcem na Surčinu, su predstavljeni sa 270° radi lakšeg reprezentovanja, a vetrovi sa istočnim pravcem su predstavljeni sa 90°. Strelice nisu vektori, već pokazuju tendenciju prema ciklonalnom ili anticiklonalnom skretanju izmedju dve stanice. Vrednosti D su date iznad strelice kod Meteorološke opservatorije u Beogradu (Djordjević, 1987.)

9. VLAŽNOST VAZDUHA

9.1. Značaj vlažnosti vazduha za lokalnu klimu

Sadržina vodene pare u vazduhu kao i stepen zasićenosti vazduha vodenom parom je od velikog značaja, jer se na osnovu tih veličina može zaključiti o kondenzaciji vodene pare, tj. o stvaranju magle, oblaka, kiše, snega itd.

Za odredjivanje sadržaja vodene pare u atmosferi u ovom odeljku analiziran je pritisak vodene pare kao i relativna vlažnost vazduha. Dok pritisak vodene pare nema veću neposrednu primenu u praksi, već pokazuje samo sadržinu vodene pare u nižim slojevima atmosfere, relativna vlažnost vazduha nam direktno odredjuje stepen zasićenosti vazduha vodenom parom.

Urbanizacuja i industrijalizacija uticale su na modifikaciju lokalne klime mnogih gradova. Ova modifikacija je sadržana u promeni lokalnog budžeta vlage u atmosferi. Faktori koji utiču na raspodelu vlažnosti u gradskom vazduhu su: uticaji površinske hrapavosti i termičkih polja na mešanje vazduha, smanjenje evapotranspiracije zbog ograničene vegetacije i ekstenzivnih nepropustljivih površina, emisije vodene pare iz industrijskih postrojenja i transport i uklanjanje vodene pare padavinama, rosom, topljenjem higroskopskih aerosola i hemijskim reakcijama u atmosferi.

Ovi faktori su doprineli sledećim primerima modifikacije vlažnosti vazduha u gradovima. Chandler (1967.) je našao da je apsolutna vlažnost katkad bila noću veća na gradskim nego na seoskim površinama, iako su srednje vrednosti apsolutne vlage bile niže za gradske površine. Koristeći merenja tačke rose Kopec (1973.) nalazi da je, pri sunčanim i vedrim danima sa uniformnim vetrovima, pritisak vodene pare u gradu bio veći noću a manji ujutru i popodne u poredjenju sa prigradskim i seoskim područjima. Landsberg i Maisel (1972.) pripisiju jednu polovinu osmotrenog (4%) smanjenja realtivne vlažnosti u gradu, gradskom ostrvu toplote, a drugu polovinu smanjenom isparavanju u gradu. Dirks (1974.) je analizirao avionska osmatranja vlažnosti iznad St. Louisa u toku avgusta (1971. - 1973. godine). Vedrih letnjih dana sa slabim vetrovima primećeno je smanjenje vlažnosti u sloju mešanja iznad gradske oblasti. Brazel i Balling (1986.) su utvrdili smanjenje relativne vlažnosti u Phoenixu (Arizona) zbog smanjenja količine vlage koja se unosi u atmosferu sa lokalnih izvora.

Pri analizi pritiska vodene pare i relativne vlažnosti u vazduhu iznad Beograda koristili smo niz podataka izmedju 1925. i 1991. godine osmotrenih na Meteorološkoj opservatoriji u Beogradu, kao i podatke sa seoske stanice u Tamnavi u periodu 1974. - 1990. godine.

9.2. Analitički metodi vlažnosti vazduha

Koristili smo sledeći niz analitičkih postupaka (Brazel i Balling, 1986.) vremenskih nizova radi identifikacije strukture varijanse u 67 - godišnjem nizu (1925. - 1991. godine) mesečnih vrednosti atmosferske vlage:

1) Standardizovan koeficijenat asimetrije Z_1 računat je kao:

$$Z_1 = \frac{\left\{ \frac{\left[\frac{\sum_{i=1}^{N} (x_i - \bar{x})^3}{N} \right]}{\left[\frac{\sum_{i=1}^{N} (x_i - \bar{x})^2}{N} \right]^{3/2}} \right\}}{(6N)^{1/2}}$$

i standardizovan koeficijenat kurtozisa Z_2 je definisan za svaki mesec kao:

$$Z_2 = \frac{\left\langle \left\{ \frac{\left[\frac{\sum_{i=1}^{N} (x_i - \bar{x})^4}{N} \right]}{\left[\frac{\sum_{i=1}^{N} (x_i - \bar{x})^2}{N} \right]} \right\} - 3 \right\rangle}{\left(\frac{24}{N} \right)^{1/2}}$$

gde je x_i mesečna vrednost vlage, $\bar{x}$ je višegodišnja srednja vrednost i N je broj godina u našem slučaju. Ove statistike su korišćene u testiranju nulte hipoteze po kojoj individualni vremenski uzorci dolaze iz populacije sa normalnom (Gaussovom) raspodelom (Siegel,1956.; Keeping, 1962.; Granger, 1979.). Ako je apsolutna vrednost Z_1 ili Z_2 veća od 1,96, postoji značajna devijacija od normalne krive sa pouzdanošću od 0,95.

2) Pretpostavljajući da je niz podataka normalno raspodeljen, koristili smo Von Neumannov odnos, V, kao test slučajnosti u odnosu na neodredjene

alternative (Mitchell, 1971.). Ova statistika predstavlja odnos srednjeg kvadrata sukcesivnih razlika prema varijaciji i definisana je kao:

$$V = \left[\frac{N}{(N-1)} \right] \left\{ \frac{\left[\sum_{i=1}^{N-1} (x_i - x_{i+1})^2 \right]}{\sum_{i=1}^{N} x_i^2 - \left(\frac{1}{N} \right) \left(\sum_{i=1}^{N} x_i \right)^2} \right\}$$

Vrednost V je uporedjena sa statističkim testom, $(V)_t$ jednakim:

$$(V)_t = \frac{\left[2N - 2t_g (N-2)^{1/2} \right]}{(N-1)}$$

gde je t_g definisano kao 1,65 za jednostran (one - tailed) test sa pouzdanošću od 0,95. Ako je V veće od $(V)_t$, prihvatamo nultu hipotezu da je vremenska serija slučajna; ako je V manje od $(V)_t$ zaključujemo da postoji izvor varijanse koja nije slučajna u podacima.

3) Pošto je najverovatnija alternativa slučajnosti neki oblik trenda (linearan ili nelinearan) u podacima, računali smo Mann-Kendallovu (Brazel, 1985.) statistiku za niz, τ, kao test za trend. Ova statistika je dobijena kao:

$$\tau = \left[\frac{4\left(\sum_{i=1}^{N-1} n_i \right)}{N(N-1)} \right] - 1$$

gde n_i predstavlja broj subsekventnih članova (od x_{i-1} do x_N) u vremenskoj seriji koji prelaze x_i. Statistika testa je jednaka:

$$(\tau)_t = 0 \pm t_g \left[\frac{(4+10)}{9N(N-1)} \right]^{1/2}$$

gde je t_g dvostrana (two - tailed) verovatnoća Gaussove raspodele koja je jednaka 1,96 sa pouzdanošću od 0,95. Ako τ leži izvan granica za $(\tau)_t$ možemo da zaključimo da neki oblik trenda postoji u strukturi varijanse koja nije slučajna.

4) Takodje smo koristili Studentov t - test da odredimo da li srednje vrednosti podperioda našeg merenja atmosferske vlage pokazuju značajne promene tokom vremena. Ova statistika je definisana kao:

$$t_d = \frac{(x_2 - x_1) - (\mu_2 - \mu_1)}{\left\{\left[\frac{(N_2 S_2^2 + N_1 S_1^2)}{N_2 + N_1 - 2}\right]\left[\frac{1}{N_2} + \frac{1}{N_1}\right]\right\}^{1/2}}$$

gde $(x_2 - x_1)$ predstavlja razliku srednjih vrednosti dve serije, $(\mu_2 - \mu_1)$ su očekivane razlike (stavlja se da je jednaka 0), N_2 i N_1 su broj slučajeva u svakoj seriji, a S_2 i S_1 su standardne devijacije u svakoj seriji. Kada je t_d izvan granica dvostruke (two - tailed) vrednosti t_g, uzima se da postoji značajna promena u srednjim vrednostima posmatranih veličina.

9.3. Analiza pritiska vodene pare

Godišnji tok pritiska vodene pare je pod velikim uticajem temperature vazduha. Ipak, ne može se govoriti o naročitoj paralelnosti ovih elemenata, jer pri niskim temperaturama za zasićenje odredjene zapremine vazduha treba znatno manja količina vodene pare, nego pri visokim temperaturama. Prema tome, dnevnu promenu temperature u hladnijem godišnjem dobu može bolje pratiti dnevna (iako manja) promena pritiska vodene pare, nego što je to slučaj u toku leta. Tada temperatura u toku dana raste dosta brzo, dok pritisak vodene pare raste mnogo sporije.

Srednje vrednosti pritiska vodene pare (mb) u Beogradu za period 1925. - 1991. godine prikazane su u Tabeli 18.

Tabela 18. Srednje vrednosti pritiska vodene pare (mb) u Beogradu u periodu 1925. - 1991. godine

	MESECI											
t (čas)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
7	4,9	5,5	6,1	8,5	12,5	15,0	16,6	15,8	13,2	9,4	6,8	5,6
14	5,5	5,7	6,8	8,7	12,1	15,5	16,2	15,9	13,6	10,1	7,6	6,4
21	5,2	5,6	6,4	8,7	12,3	15,4	16,7	16,3	14,0	10,3	7,2	6,0
Srednja vrednost	5,2	5,6	6,5	8,7	12,3	15,3	16,5	16,0	13,6	10,4	8,1	6,0

Iz navedene tabele se vidi da je pritisak vodene pare u zimskim mesecima mnogo manji nego u letnjim. Dnevno kolebanje vodene pare je u letnjim mesecima veoma karakteristično. Iz Tabele 18 se vidi da su leti srednje mesečne vrednosti u 14 časova manje nego u jutarnjim i večernjim časovima.

Ovo nastaje usled toga što se u toku leta, u ranim popodnevnim časovima, kada je zagrevanje zemljišta najintenzivnije, stvaraju konvektivne struje koje

odnose vodenu paru uvis, te se usled toga smanjuje količina vodene pare u prizemnom vazduhu.

U Tabeli 19 pokazane su najveće i najmanje terminske vrednosti pritiska vodene pare (mb) u Beogradu u periodu 1888. - 1985. godine. (Rezultati osmatranja Meteorološke opservatorije u Beogradu u periodu 1887. - 1986. godine).

Tabela 19. Najveće i najmnanje terminske vrednosti pritiska vodene pare (mb) u Beogradu u periodu 1888. - 1985. godine

	MESECI											
e (mb)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
e_{max}	11,7	13,5	14,4	20,5	33,7	30,8	32,1	30,1	25,2	24,1	17,7	14,3
God.	1955	1958	1913	1948	1920	1920	1901, 1985	1920	1923	1923	1928	1923
e_{min}	0,8	0,7	1,7	1,7	3,1	5,7	4,7	6,3	3,5	1,1	2,0	0,9
God.	1947	1929	1913	1921	1930	1913	1922	1928	1905	1920	1920	1890

Rezultati izložene statističke obrade pritiska vodene pare u prizemnom sloju vazduha u Beogradu, kao i srednje mesečne vrednosti posmatranog niza, pokazane su u Tabeli 20. Srednja mesečna vrednost pritiska vodene pare raste iz meseca u mesec, počev od januara kada je najmanja (5,2 mb), dostižući svoj maksimum u julu u vrednosti od 16,5 mb, a zatim postepeno opada. Ova činjenica je razlog što je koeficijent asimetrije Z_1, veći od 2,96 i menja se u uskom intervalu vrednosti, tj. od 4,11 do 4,67.

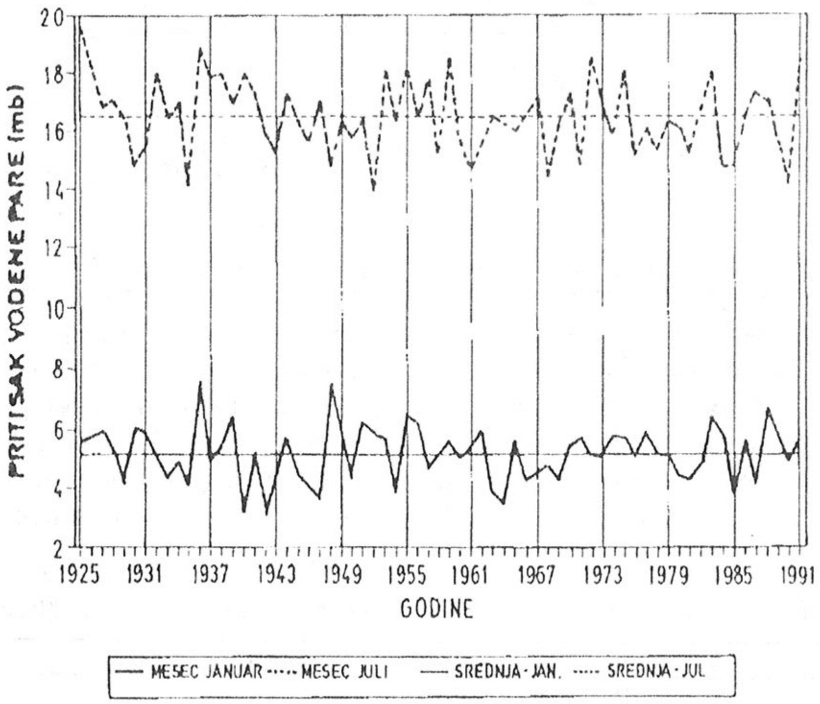
Tabela 20. Statistička obrada pritiska vodene pare za period 1925. - 1991. godina

	MESECI											
Parametar	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
e(mb)	5,2	5,6	6,5	8,7	12,3	15,4	16,5	16,0	13,6	10,5	8,1	6,0
S	4,81	4,85	6,37	7,00	10,54	11,3	12,99	12,05	9,31	7,10	8,06	4,55
Z_1	4,42	4,56	4,29	4,57	4,51	4,63	4,59	4,64	4,62	4,67	4,11	4,60
st. test	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96
Z_2	-1,15	-0,78	-0,15	-1,62	-1,61	-1,66	-1,57	-1,70	-1,63	-1,53	-1,96	-1,42
st. test	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96
V	2,64	2,34	2,94	4,39	5,88	28,50	4,60	10,01	3,85	2,69	2,26	2,55
st. test	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62
Studentov test t_d	0,16	-0,16	0,12	-0,16	0,04	-0,07	-0,09	0,16	0,20	-0,21	-0,42	0,00
st. test	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96
τ	-0,88	-0,98	-0,83	-0,82	-0,92	-0,18	-1,00	-0,71	-0,74	-0,81	-0,97	-0,68
st. test	+- 0,16	+- 0,16	+- 0,16	+- 0,16	+- 0,16	+- 0,16	+- 0,16	+- 0,16	+- 0,16	+- 0,16	+- 0,16	+- 0,16

Dalja statistička analiza nam pokazuje da vrednosti pritiska vodene pare slede normalnu Gaussovu, raspodelu vrednosti ($|Z_2| < 1,96$). Von-Neumannov odnos V, kao test slučajnosti, pokazuje nam da posmatrana vremenska serija vrednosti

pritiska vodene pare podleže zakonu slučajne raspodele varijanse tokom meseci. To znači da možemo prihvatiti nultu hipotezu po kojoj se individualni vremenski uzorci ponašaju kao normalne, slučajne veličine što znači da postoji neki oblik trenda.

Kod utvrdjivanja trenda, korišćena je Mann-Kendallova statistika, po kojoj dobijene vrednosti τ, potvrdjuju da postoji neki oblik trenda u strukturi varijanse vrednosti pritiska vodene pare. Godišnji hod pritiska vodene pare u januaru i julu prikazan je na sl. 25.



Slika 25. Srednji mesečni pritisak vodene pare u januaru i julu u Beogradu u periodu 1925. - 1991. godina

Analizom minimalnih temperatura vazduha u Beogradu i njegovoj okolini za niz od 1974. - 1990. godine uočeno je postojanje gradskog ostrva toplote što je pokazano u Odeljku 4. ove Monografije. Stoga je ova vremenska serija ispitivana ovde kako bi se uočila neka promena u pritisku vodene pare koristeći Studentov t_d test. Rezultati ovog testa (Tabela 20) pokazuju da nema značajnijih promena u srednjim vrednostima pritiska vodene pare u Beogradu u ispitvanom dvadesetogodišnjem nizu, što se vidi na sl. 25.

9.4. Analiza relativne vlažnosti vazduha

Relativna vlažnost vazduha kao stepen zasićenosti vazduha vodenom parom je značajna u klimatološkom smislu. Vazduh je zimi u Beogradu vlažan a leti suv, iako zimi u vazduhu ima mnogo manje vodene pare nego leti (Tabela 18.)

Relativna vlažnost je najprirodniji izraz za vlažnost vazduha kao klimatski element, jer ona neposredno reaguje na organske supstance.

Tabela 21. Srednje mesečne vrednosti relativne vlage u (%) po terminima osmatranja u Beogradu (1925. - 1991. godine)

	MESECI											
t(čas)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
7	84	82	77	71	73	75	73	74	77	82	84	82
14	72	66	55	49	52	52	48	46	50	55	68	80
21	81	77	69	66	70	71	68	69	74	76	70	81
Srednja	80	75	67	63	65	66	63	63	67	72	78	81

Na našim geografskim širinama relativna vlažnost od 70 - 75% je već znak suvog vremena, a vlažnost od 50% je znak vrlo suvog vremena. U Tabeli 21 su navedene srednje mesečne vrednosti relativne vlažnosti u Beogradu u periodu 1925. - 1991. godine. Brojne vrednosti u ovoj tabeli pokazuju da relativna vlažnost opada od zimskih prema letnjim mesecima, a zatim opet raste od letnjih prema zimskim. Mali porast relativne vlage je zabeležen u maju i junu jer su to meseci kada u Beogradu padne najviše kiše. Naročito pada u oči da maksimalna vrednost relativne vlažnosti nije u januaru (kada je najniža temperatura) već u decembru. Iz Tabele 21 se takodje vidi da su dnevna kolebanja relativne vlažnosti u letnjim mesecima preko dva puta veća nego zimi, kao i kod temperature. Ovo kolebanje je i razlog što je u letnjim danima vazduh u Beogradu često skoro suv.

Srednje vrednosti relativne vlažnosti po godišnjim dobima u periodu 1925. - 1991. godina u Beogradu su:

	zima	proleće	leto	jesen
-Relativna vlažnost (%)	82	66	64	74
-Srednje kolebanje (%)	12	24	27	24

Iz navedenih vrednosti se vidi da je relativna vlažnost u jesen veća za 8% nego u proleće mada je srednja temperatura u jesen veća nego u proleće. Medjutim, srednje kolebanje relativne vlažnosti u jesen je isto kao u proleće.

U Tabeli 22 prikazane su najmanje terminske vrednosti relativne vlage (%) u Beogradu u periodu (1888. - 1985.godine), (Rezultati osmatranja na Meteorološkoj opservatoriji u Beogradu 1888. -1987. godine).

Statistička analiza relativne vlažnosti (Tabela 23) u Beogradu za period 1925. - 1991. godine) pokazuje da pozitivna asimetrija (Z_1) samo u januaru i maju ukazuje na uticaj nekoliko relativno velikih vrednosti relativne vlage koje su se javile

tokom godina u tim mesecima. Dalje, pozitivne vrednosti kurtozisa u septembru, novembru i decembru ukazuju na izraženu tendenciju relativne vlage ka gomilanju oko vrednosti moda (najčešća vrednost).

Tabela 22. Najmanje terminske vrednosti relativne vlažnosti u Beogradu (1888. - 1985. godine)

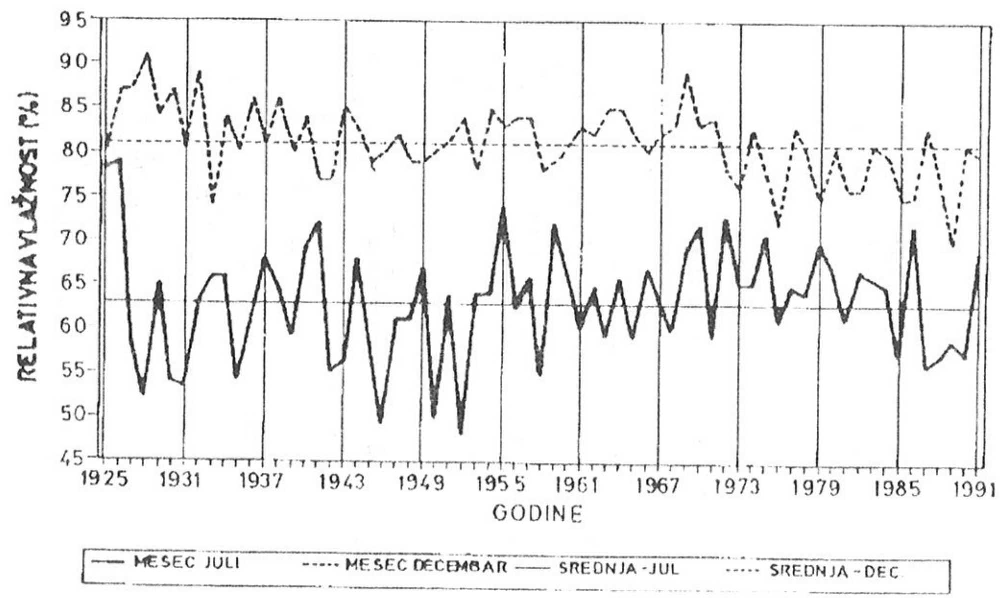
	MESECI											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
U (%)	25	15	14	11	14	15	14	14	13	19	14	27
God.	1899	1899	1903	1921	1905	1908	1952	1923	1946	1946	1926	1895

Tabela 23. Statistička obrada relativne vlage (1925. - 1991. godina)

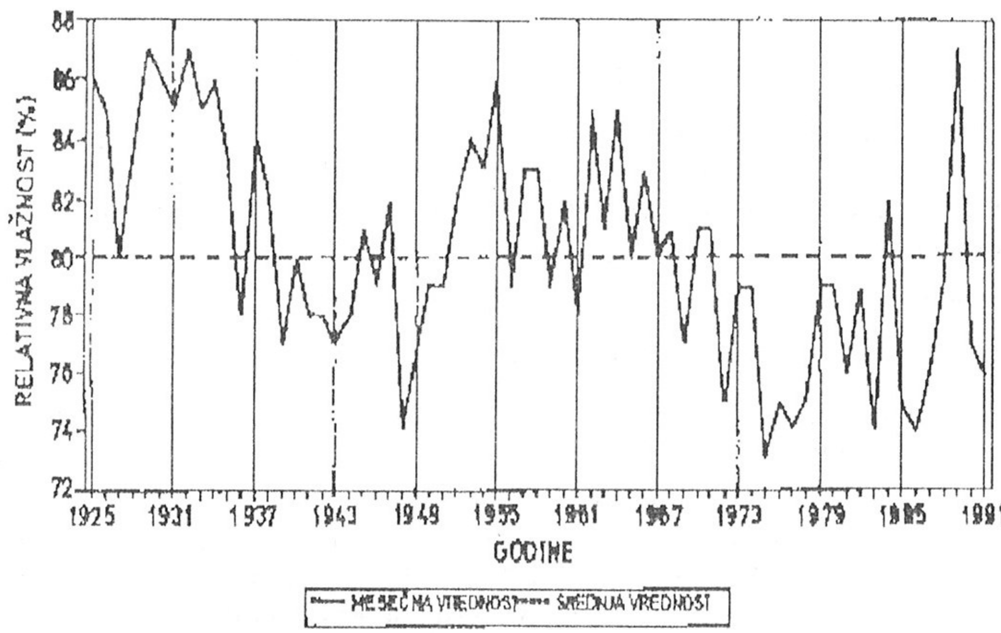
	MESECI											
Parametar	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
U (%)	80	75	67	63	65	66	63	63	67	72	78	81
S	3,74	4,69	6,93	5,38	5,57	5,00	6,63	7,55	6,48	5,66	5,00	4,00
Z_1	0,77	-0,23	-0,92	-0,19	0,15	-0,91	-0,03	-0,05	-1,36	-0,83	-1,87	-0,26
st. test	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96
Z_2	-1,43	-1,78	-0,29	-0,42	-0,93	-0,55	-0,04	-0,79	-0,18	-0,70	0,73	0,40
st. test	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96
V	-0,85	-5,54	4,24	6,02	5,00	14,26	3,51	2,58	2,93	9,65	-9,16	-1,65
st. test	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62
Studentov test t_d	-5,03	-2,44	-2,19	-0,71	0,00	0,75	2,26	1,51	2,94	0,68	-1,32	-2,8
st. test	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96
τ	-0,76	1,58	-0,04	-1,23	-0,02	-0,47	-0,93	-0,26	-0,93	-0,78	-0,92	-1,81
st. test	+- 0,16	+- 0,16	+- 0,16	+- 0,16	+- 0,16	+- 0,16	+- 0,16	+- 0,16	+- 0,16	+- 0,16	+- 0,16	+- 0,16

Von Neumannov odnos V sugeriše da neki oblik varijanse, koja nema slučajnu raspodelu, postoji u januaru, februaru, novembru i decembru (Tabela 23, dok ostalih meseci u godini varijansa sledi zakon slučajne raspodele.

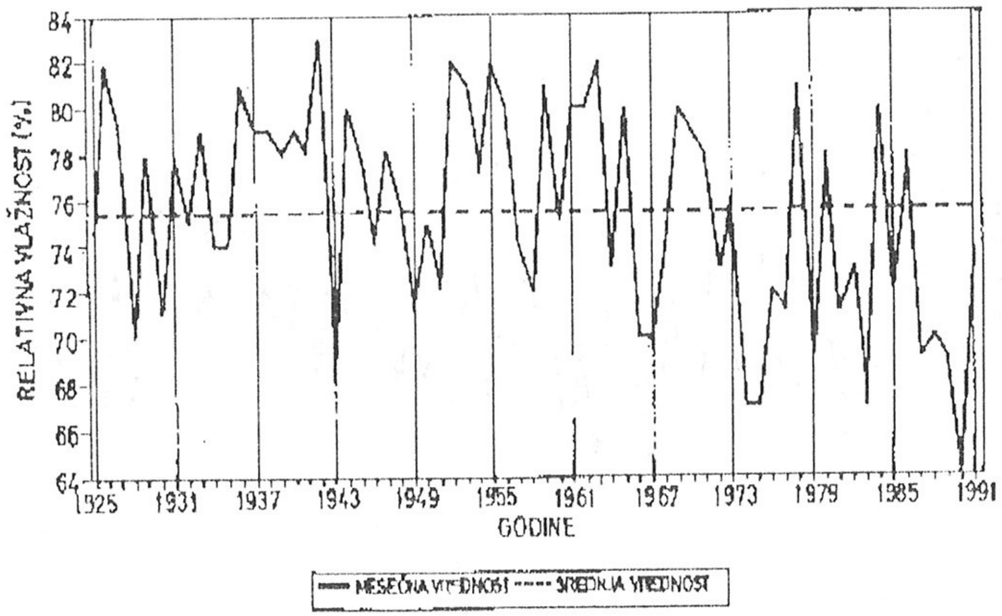
Ispitivanje trenda pomoću Mann-Kendallove metode nameće zaključak da tokom svih meseci u godini izuzev marta i maja postoji izražen silazni trend, koji je najizražajniji tokom zimskih meseci (sl. 26, 27 i 28). I korišćen Studentov t_d test pokazuje veoma izražen pad vrednosti relativne vlažnosti tokom zime kao i u julu i septembru. Naša analiza pritiska vodene pare iz prethodnog odeljka upućuje na i septembru. Naša analiza pritiska vodene pare iz prethodnog odeljka upućuje na pretpostavku da opadanje relativne vlažnosti posle 1970. godine mora biti više u vezi sa povećanjem temperature (gradsko ostrvo toplote) nego sa povećanjem apsolutne vlažnosti.



Slika 26. Srednja mesečna vlažnost u julu i decembru u Beogradu u periodu 1925. - 1991. godina



Slika 27. Relativna vlažnost vazduha u januaru u Beogradu u periodu 1925. - 1991. godina



Slika 28. Relativna vlažnost vazduha u februaru u Beogradu u periodu 1925. - 1991. godina

9.5. Uticaj gradskog ostrva toplote na pad relativne vlažnosti u gradu

Varijacije relativne vlažnosti su pre svega funkcija temperature kao i sadržaja pare u vazduhu. Bliže rečeno, izgleda da je termička kontrola jača (Chandler, 1967.) i relativna vlažnost se obično menja u obrnutoj proporciji sa temperaturom. Tako je za izabrani petogodišnji niz 1985. -1989. godina za Beograd ispitivana korelaciona zavisnost srednjih vrednosti relativne vlažnosti i temperature što je prikazano na sl. 29.

Dobijena prava regresije je oblika:

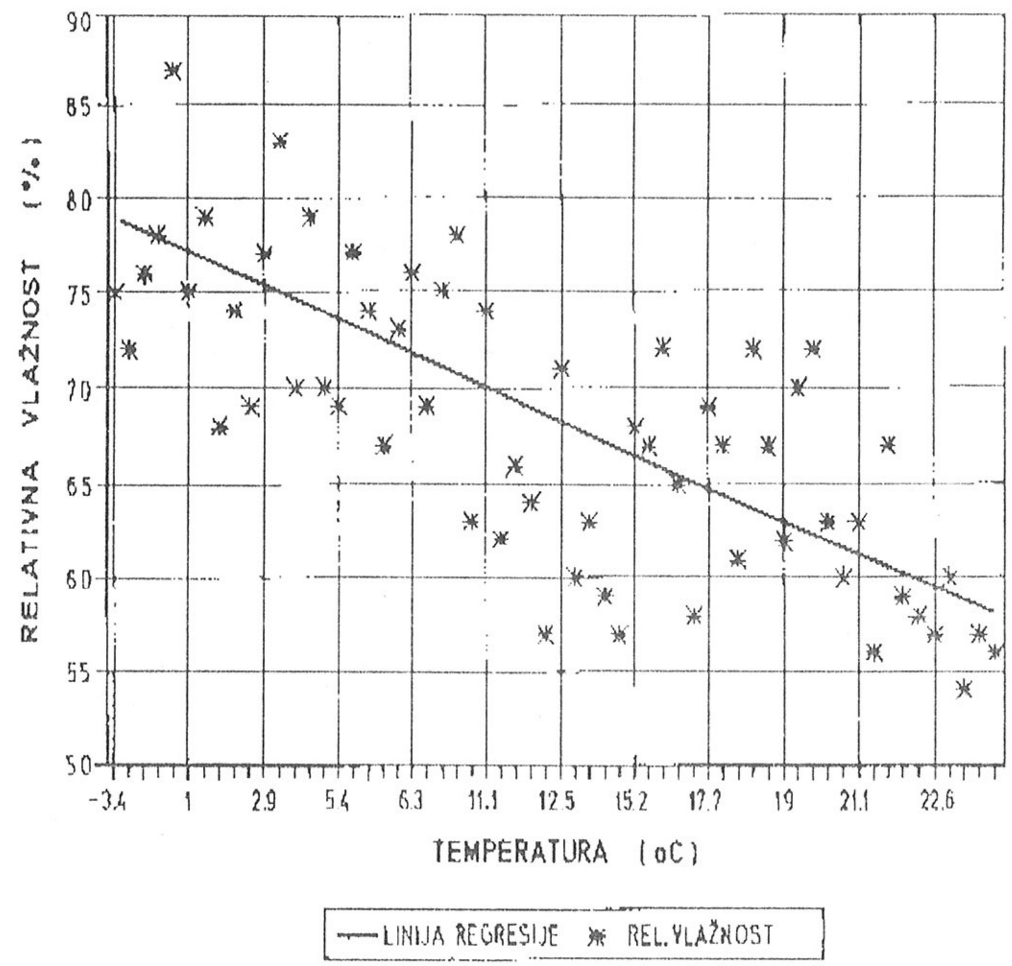
$$U = 76,05 - 0,70\,T$$

sa koeficijentom korelacije r = -0,74, koji ukazuje na tesnu linearnu vezu izmedju posmatranih veličina.

Kao i kod drugih evropskih gradova srednja vrednost relativne vlažnosti u Beogradu za period 1974. - 1990. godine je niža od okolnih seoskih sredina (Kratzer, 1956., Chandler, 1967.). Iz Tabele 24 se vidi da je razlika izmedju relativne vlažnosti u Beogradu i Tamnavi (čista seoska sredina) maksimalna leti kada je i gradsko ostrvo toplote izraženo. Ispitivanje uticaja gradskog ostrva toplote na smanjenje relativne vlažnosti u gradskom centru uradjeno je računajući razlike u relativnoj vlažnosti i temperaturi izmedju Tamnave i Beograda u periodu 1985. - 1989. godina. U godišnjem iznosu relativna vlažnost u Tamnavi je veća za 7,5%, dok je srednja temperatura u Beogradu u proseku veća za 0,9 °C. Dobijena linija regresije (sl. 30) je sledećeg oblika:

$$dU = 4,78 - 2,98\,dT$$

sa koeficijentom korelacije r = -0,48, koji se nalazi veoma blizu granice značajne linearne veze od praktične važnosti. Ovaj koeficijent korelacije pokazuje da osim gradskog ostrva toplote na smanjenje relativne vlažnosti u gradu možda u znatnoj meri utiče i sadržaj vlage u prizemnom sloju vazduha (smanjeno isparavanje usled smanjenja prirodnih površina). Periferni vetrovi oko ostrva toplote, lokalni i pulsirajući po karakteru (Chandler, 1961.), mogu takodje da doprinesu stvaranju pritiska vodene pare na granicama grada i isušivanju hladnijim vazduhom iz otvorenog prostora ka urbanizovanim prigradskim površinama.

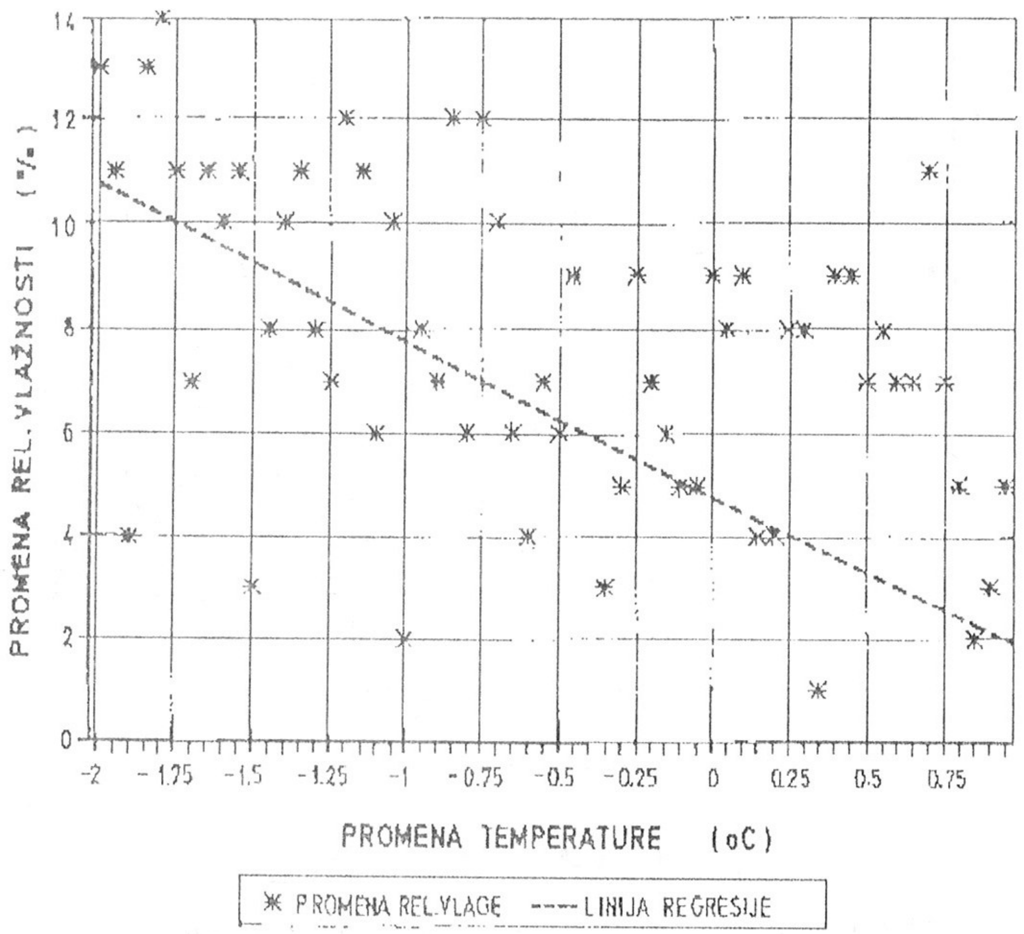


Slika 29. Korelaciona zavisnost relativne vlažnosti i temperature u periodu 1985. - 1989. godina

Tabela 24. Srednja mesečna relativna vlažnosi u Beogradu (U_B) i Tamnavi (U_T)

(1974. - 1990. godina)

U (%)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
	MESECI											
U_B	78	73	64	62	65	67	65	65	70	72	77	78
U_T	82	77	72	71	75	77	74	73	78	79	83	83
ΔU	-4	-4	-8	-9	-10	-10	-9	-8	-8	-7	-6	-5



Slika 30. Korelaciona zavisnost promene relativne vlažnosti od promene temperature

Ispitivanje časovnih vrednosti pritiska vodene pare u Beogradu i Tamnavi u pomenutom vremenskom periodu ukazuje na češću pojavu većeg noćnog pritiska vodene pare u Beogradu nego u Tamnavi (Tabela 25).

Tabela 25. Srednji mesečni pritisak vodene pare u Beogradu i Tamnavi e(mb) u 3 časa

(1974. - 1990. godina)

U (%)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
	MESECI											
e_B	4,9	5,1	6,0	8,5	12,1	15,2	16,5	15,9	12,9	9,7	7,6	6,3
e_T	4,8	5,2	6,6	8,4	12,3	14,7	15,6	15,3	12,5	9,4	7,0	5,6
$(e_B - e_T)$	-0,1	-0,1	-0,6	0,1	-0,2	0,5	0,9	0,6	0,4	0,3	0,6	0,7

Veći noćni pritisak vodene pare u gradskim sredinama registrovan je u Berlinu (Kratzer, 1956.) i Londonu (Chandler, 1965.)

Smanjena difuzija vodene pare u vazduhu izmedju zgrada (uprkos mogućeg porasta turbulencije iznad zgrada zbog većeg parametra hrapavosti) više utiče na distribuciju vodene pare nego na smanjeno isparavanje u samom gradu. Na ovaj način vazduh unutar grada održava svoju visoku dnevnu temperaturu i sadržaj vlage. Tamo gde su zgrade udaljene jedna od druge, povećana turbulencija može da smanji vlažnost u vazduhu neposredno iznad površine tla, dok će na površinama sa zbijenim zgradama, vazduh izmedju njih održavati svoj visok dnevni pritisak vodene pare.

Veoma jake površinske inverzije temperature takodje su u vezi sa kompleksnošću pritiska vodene pare (Chandler, 1967.), tj. sa nastavljenim džepovima relativno vlažnog i suvog vazduha, karakterističnim za granične oblasti grada. Stoga je potrebno nastaviti sa intenzivnim merenjima u samom gradu, pri sličnim sinoptičkim situacijama kako bi se utvrdila čestina ovih pojava.

10. ATMOSFERSKE PADAVINE

10.1. Veza izmedju padavina i urbanih područja

Život na Zemljinoj površini je direktno ili indirektno u velikoj zavisnosti od padavina. Nije samo nepovoljna temperatura razlog što pojedini delovi Zemljine površine nisu naseljeni već i odsustvo padavina od kojih najviše zavisi pojava i opstanak vegetacije.

Naročito u poljoprivredi padavine imaju značajnu ulogu, jer svako duže odsustvo padavina stvara velike teškoće kako biljnom tako i životinjskom svetu.

Padavine i vlažnost vazduha su u direktnom odnosu. Dovoljna količina padavina u nekom mestu povećava i vlažnost vazduha, dok nedostatak padavina prouzrokuje u većini slučajeva suvoću vazduha.

Padavine, kao meteorološki element pojavljuju se danas u raznim domenima ljudske aktivnosti, bilo kao štetan, bilo kao koristan element. Predvidjanje vremena, za kraći ili duži period, koje je jedan od glavnih ciljeva primenjene meteorologije, ograničava se za najveći deo privredne delatnosti na prognozu padavina.

Pošto većina ljudi živi u gradovima, kakav je Beograd, nas ovde prvenstveno zanima kakav je uticaj ove gradske sredine na mikroklimu grada, posebno u odnosu na padavine, kao jedan od osnovnih klimatskih faktora. Zato se postavlja pitanje koliko se klima gradske sredine razlikuje od okolnih seoskih područja i da li i koliko se padavine povećavaju ili smanjuju.

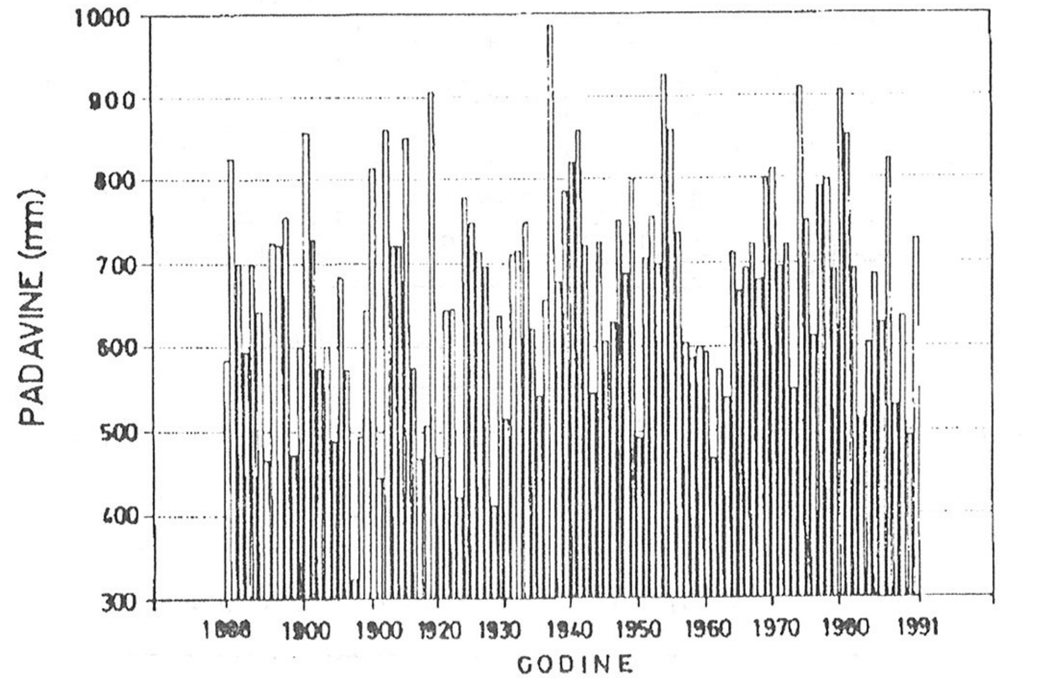
Mada je teško odvojiti mezo- od mikroklimatskih uticaja, veoma je značajno poznavanje klime svakog većeg gradskog područja. Ovo se pre svega odnosi na neprekidno merenje svih značajnih parametara padavina, tako da se budući uticaji povećanja grada ili zagadjenosti vazduha na njih mogu sa sigurnošću utvrditi.

10.2. Raspodela padavina u Beogradu

Po svojoj prirodi padavine su najpromenljiviji meteorološki element. U vrlo kratkom vremenskom razmaku mogu da se smenjuju najekstremnije vrednosti njihovog intenziteta, i to najviše kod jakih kiša i pljuskova. Tako se dešava da na malim površinskim rastojanjima padnu veoma različite količine kiše. Takodje postoje znatne razlike u visini padavina izmedju pojedinih godina (sl. 31), a pogotovu izmedju istih meseci u različitim godinama. Zbog toga je pri analizi padavina potreban duži period osmatranja kako bi se došlo do pouzdanijeg zaključka o njihovom karakteru.

Tako u letnjim mesecima u Beogradu najviše kiše padne u popodnevnim časovima, izmedju 16 i 19 časova. Ovaj maksimum je posledica jakog zagrevanja

vazduha i stvaranja uzlaznih vazdušnih struja usled čega se obrazuju konventivni oblaci iz kojih padaju jake kiše. U zimskim mesecima maksimum padavina je u noćnim ili ranim jutarnjim časovima kada se tlo i vazduh iznad njega jako rashlade usled čega dolazi do kondenzacije vodene pare, tj. do stvaranja stratusa, niskih slojeva oblaka iz kojih pada sitna kiša ili sneg.



Slika 31. Godišnje količine padavina u Beogradu u periodu 1888. - 1991. godine

Mesečne i godišnje visine padavina koje se analiziraju u ovom delu rada odnose se na već pomenuti period 1888. - 1991. godine u uvodnom delu. Podaci prikazani u Tabeli 26 daju na prvom mestu pregled raspodele padavina u Beogradu u toku godine kao i godišnje visine padavina u uzastopnim decenijama od 1891. do 1990. godine. Takodje su data tri standardna perioda, prvi od 1901. do 1930. godine, drugi od 1931. do 1960. godine i treći od 1961. do 1990. godine, kao i devedesetogodišnji period od 1901. do 1991. godine.

Godišnji tok padavina u dva obradjena niza pokazuje da se najveća mesečna visina padavina javlja u junu. Jedini izuzetak čini niz 1901. - 1930. godina u kome je u maju palo za 1,1 mm više kiše od juna. Najmanja visina padavina uočena je u februaru, kako u uzastopnim decenijama, tako i u posmatranim normalnim periodima. Maksimum padavina u Beogradu u maju i junu vezan je za prodore vlažnog atlantskog vazduha sa severozapada.

Godišnja visina padavina kreće se od 620,9 mm (1901. - 1930. godina) do 698,7 mm (1931. - 1960. godina), dok srednja dugogodišnja visina padavina u posmatranom devedesetogodišnjem nizu (1901. - 1990. godina) iznosi 667,9 mm.

Tabela 26. Mesečne i godišnje količine padavina u Beogradu u uzastopnim decenijama (mm)

	MESECI												
Decenije	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
1891.-1900.	29,6	26,0	48,7	64,2	81,8	81,8	70,3	62,6	42,9	53	43,9	46,9	651,7
1901.-1910.	33,7	36,8	32,0	58,7	58,0	79,6	61,8	40,1	40,7	61,2	47,8	41,2	591,6
1911.-1920.	47,8	20,6	52,3	56,2	85,5	60,7	76,6	42,8	42,1	69,4	50,2	47,2	651,4
1921.-1930.	35,2	32,4	27,3	54,9	70,1	70,2	43,0	77,2	36,0	67,1	54,0	53,4	620,8
1931.-1940.	50,8	41,7	59,4	53,8	78,6	89,6	62,7	67,9	50,6	72,8	49,4	48,6	725,9
1941.-1950.	46,6	51,0	36,9	52,6	63,0	36,9	48,5	44,1	52,2	46,3	76,6	59,2	662,9
1951.-1960.	47,0	46,1	40,9	52,0	79,6	114,7	67,7	50,6	48,8	46,4	56,5	55,9	706,2
1961.-1970.	55,6	53,1	48,3	51,0	65,8	75,8	73,4	30,8	50,6	23,3	57,7	83,3	665,7
1971.-1980.	45,5	45,4	42,2	66,4	80,5	95,5	77,1	71	61,6	58,0	55,0	43,4	741,6
1981.-1990.	46,7	34,6	58,0	58,9	65,7	100,3	48,7	52,7	42,1	39,7	52,6	45,7	645,7

Količine padavina (mm) po normalnim periodima

	MESECI												
Period	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
1901.-1930.	38,9	30,0	37,2	56,6	71,2	70,1	60,4	53,4	39,6	65,9	50,6	47,2	620,9
1931.-1960.	48,1	46,2	45,7	52,8	73,7	97,1	59,6	54,2	50,7	54,8	60,9	54,6	698,7
1961.-1990.	49,3	44,4	49,5	58,8	70,7	90,5	66,4	51,5	51,4	40,3	54,1	57,5	684,4

Najveće mesečne i godišnje visine padavina (mm)

	MESECI												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
	114,3	127,7	144,7	131,1	193,2	215,5	191,3	205,5	177,7	217,6	161,9	178,7	984,4
Godina	1963	1978	1981	1924	1900	1940	1890	1937	1931	1922	1921	1969	1937

Najmanje mesečne i godišnje visine padavina (mm)

	MESECI												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
	4,2	1,1	1,4	10,6	8,7	7,9	2,1	1,6	1,0	0,0	1,4	0,6	325,5
1981.-1990.	1898 1964	1891	1929	1939	1982	1928	1928	1890	1947	1965	1961	1888	1907

Najveće vrednosti dnevnih količina padavina (mm)

	MESECI												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
	33,2	34,8	40,5	75,6	68,7	77,9	92,4	87,5	88,4	48,3	38,8	38,1	92,4
Dan	5	3	30	22	21	30	15	10	4	30	8	2	15. VIII
Godina	1981	1962	1927	1892	1927	1940	1890	1926	1951	1932	1942	1956	1890

Mesec oktobar u Beogradu je karakterističan po tome što je u njemu zabeležena najveća (217,6 mm u 1922. godini) i najmanja (0,0 mm u 1965. godini) visina kiše. Najveća godišnja visina padavina iznosila je 984,4 mm (1937. godina), a najmanja godišnja visina padavina izmerena je 1907. godine u vrednosti od samo 325,5 mm. Navedeni podaci nam izmedju ostalog ukazuju i na velika kolebanja mesečnih i godišnjih visina padavina u Beogradu.

Tabela 27. Srednje, najveće i najmanje visine padavina (mm) u Beogradu po godišnjim dobima (1888. - 1991. godina)

Srednje visine padavina (mm)

ZIMA	PROLEĆE	LETO	JESEN
133,9	175,9	203,3	155,5

Najveće visine padavina (mm)

ZIMA	PROLEĆE	LETO	JESEN
322,3	315,3	377,5	346,7
1969 / 70	1937	1953	1974

% od srednje visine

ZIMA	PROLEĆE	LETO	JESEN
240,7	179,2	186,7	222,9

Najmanje visine padavina (mm)

ZIMA	PROLEĆE	LETO	JESEN
45,9	33,0	35,8	40,2
1971 / 72	1921	1928	1953

% od srednje visine

ZIMA	PROLEĆE	LETO	JESEN
34,3	18,8	17,6	25,8

Posle mesečne visine padavina u klimatologiji je uobičajeno da se izdvoji najveća visina padavina koja padne u jednom danu u svakom mesecu u toku godine (Tabela 26). Ako se analiziraju najveće dnevne visine padavina iz godine u godinu u toku višegodišnjeg perioda merenja, onda se vidi da se njihov iznos kreće od najmanjih do najvećih visina, koje u pojedinim mesecima, na primer od aprila do septembra, mogu da budu veće od srednje mesečne višegodišnje visine padavina u odgovarajućem mesecu.

Kao što se vidi iz Tabele 26, dnevni maksimum visine padavina (u suvljim mesecima) od novembra do februara može da ima vrednosti koje prelaze 30 mm, dok u vrlo kišovitim mesecima, dnevni maksimum visine padavina može da bude

izmedju 70 i 90 mm, što je znatno veće od višegodišnje srednje mesečne visine padavina.

Tabela 28. Čestine kišnih perioda odredjenog trajanja (1985. - 1965. godina), (Milosavljević, 1987.)

	MESECI											
Trajanje	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1 dan	164	163	150	137	178	203	204	163	144	147	134	161
2	98	104	93	115	119	103	92	85	69	82	94	106
3	69	39	46	72	57	65	41	47	43	46	51	55
4	29	32	25	28	29	33	25	15	27	21	31	36
5	17	13	20	15	20	14	10	7	7	10	20	16
6	11	13	11	11	9	7	3	7	9	13	14	16
7	7	5	4	8	8	7	4	2	1	6	6	8
8	4	3	5	4		4	1	3	1	1	3	4
9	6	1	3		2		1		2	1	3	1
10			2			1				1		2
11	1			1						2	2	
12										1	1	
13						1				1		1
14												
15					1							
16												
17												
18				1								

Najduže trajanje u danima

MESECI											
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
11	9	10	18	16	13	9	8	9	13	12	13

Srednje trajanje u danima

MESECI											
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2.4	2.3	2.4	2.5	2.2	2.2	1.9	2	2.1	2.3	2.5	2.4

Godišnji tok visine padavina može se analizirati takodje prema podacima o padavinama u godišnjim dobima. Najvažnije karakteristike ovih parametara prikazane su u Tabeli 27.

Iz nje se uočava da u Beogradu padne najviše kiše leti, a zatim u proleće. Ekstremne vrednosti visine padavina, prikazane u ovoj tabeli, pokazuju da u svim godišnjim dobima padne od 315 do 377 mm, što su dosta velike visine, dok

najmanje visine pokazuju da u izrazito sušnim godišnjim dobima padne samo 33 do 46 mm padavina, što je za tri meseca vrlo mala visina.

Da bi se video koliki je ukupan broj dana sa padavinama raznih visina uradjena je Tabela 43 (u Prilozima), iz koje se uočava da broj dana sa padavinama opada sa porastom visina. Tako, na primer, padavine ≥ 1,0 mm javljaju se u srednjoj vrednosti u aprilu , maju i junu skoro svakog trećeg dana, dok se padavine ≥ 5 mm mogu javiti u junu svakog šestog dana.

Pored broja dana sa odredjenim visinama padavina vrlo su interesantni podaci tzv. kišnih perioda odredjenih trajanja koji pružaju obaveštenja o karakteristikama padavina u Beogradu. Godišnja raspodela kišnih perioda pokazana je u Tabeli 28 (Milosavljević, 1987.). Jednodnevnih kišnih perioda ima najviše u toku cele godine sa maksimumom u junu i julu. Godišnji tok čestine dvodnevnih perioda kiše pokazuje da su one najčešće u aprilu i maju. Iz ove tabele se takodje uočava da se čestine kišnih perioda postepeno smanjuju od jednodnevnih do sedmodnevnih kiša, koje se u pojedinim mesecima vrlo retko javljaju. Periodi sa dužim trajanjem kiše su u klimatskoj oblasti u kojoj se nalazi Beograd vrlo retki. Tako je najduže trajanje kišnog perioda od 18 dana zabeleženo u aprilu 1942. godine.

Tabela 29. Srednja visina padavina u Beogradu u kišnim periodima različitih dužina (1888. -1965. godina), (Milosavljević, 1987.)

	MESECI											
Trajanje	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1 dan	2,2	2,9	2,8	3,3	3,7	5,1	5,3	4,4	5,0	3,9	2,6	3,6
2	6,3	5,6	6,5	7,8	10,7	13,2	11,9	12,5	10,3	9,8	9,2	6,1
3	9,8	10,9	10,6	15,2	18,3	15,1	19,6	16,4	13,8	16,7	14,9	11,5
4	14,2	12,7	15,8	20,9	23,8	31,7	32,1	30,4	22,8	23,8	15,9	17,5
5	20,1	17,8	21,4	26,4	31,5	26,8	33,7	41,9	28,2	32,2	24,7	15,7
6	19,1	26,7	18,6	32,5	34,8	40,0	33,0	51,2	39,0	36,3	31,6	25,1
7	18,8	34,1	32,8	31,9	36,7	61,0	45,6	36,9	17,8	39,2	48,2	36,1
8	26,7	32,6	40,7	31,2		70,3	19,5	35,5	112,1	29,9	60,9	30,5
9	39,4	57,7	42,7		65,2		51,0		30,2	37,8	32,0	17,4

Pored čestine kišnih perioda za mnoge privredne probleme u gradu je značajno poznavati koliko iznosi visina padavina koja se izluči u pojedinim kišnim periodima različite dužine. Stoga je u Tabeli 29 (Milosavljević,1987.) data srednja visina padavina u kišnim periodima različitog trajanja. Ovi podaci pokazuju da u jednodnevnom kišnom periodu padne u letnjim mesecima prosečno skoro dva puta više kiše nego u zimskim ali i da u letnjim mesecima padne najviše 5,3 mm. I kod preostalih navedenih kišnih perioda postoji sličan godišnji tok. Pored toga uočava se da se srednja visina padavina različitog trajanja povećava od januara do jula, a zatim postepeno opada do kraja godine.

Medjutim, za agrometeorološke i hidrološke analize promenljivost padavina u vremenu je značajna kao i promena u srednjoj dnevnoj visini padavina.

Poslednjih godina se za tačnu procenu dnevne promenljivosti visine padavina koristi autoregresivni model koji je prilagodjen klimatološkim podacima (Leith, 1973.). U pomenutom modelu se pretpostavlja da su padavine u danu n u funkcionalnoj zavisnosti od visine padavina iz dana (n-1) plus slučajna komponenta.

Možda bi tačniji opis ove zavisnosti bio da visina padavina iz dana n zavisi samo od toga da li je prethodnih k dana bilo vlažno ili suvo (Katz, 1977.).

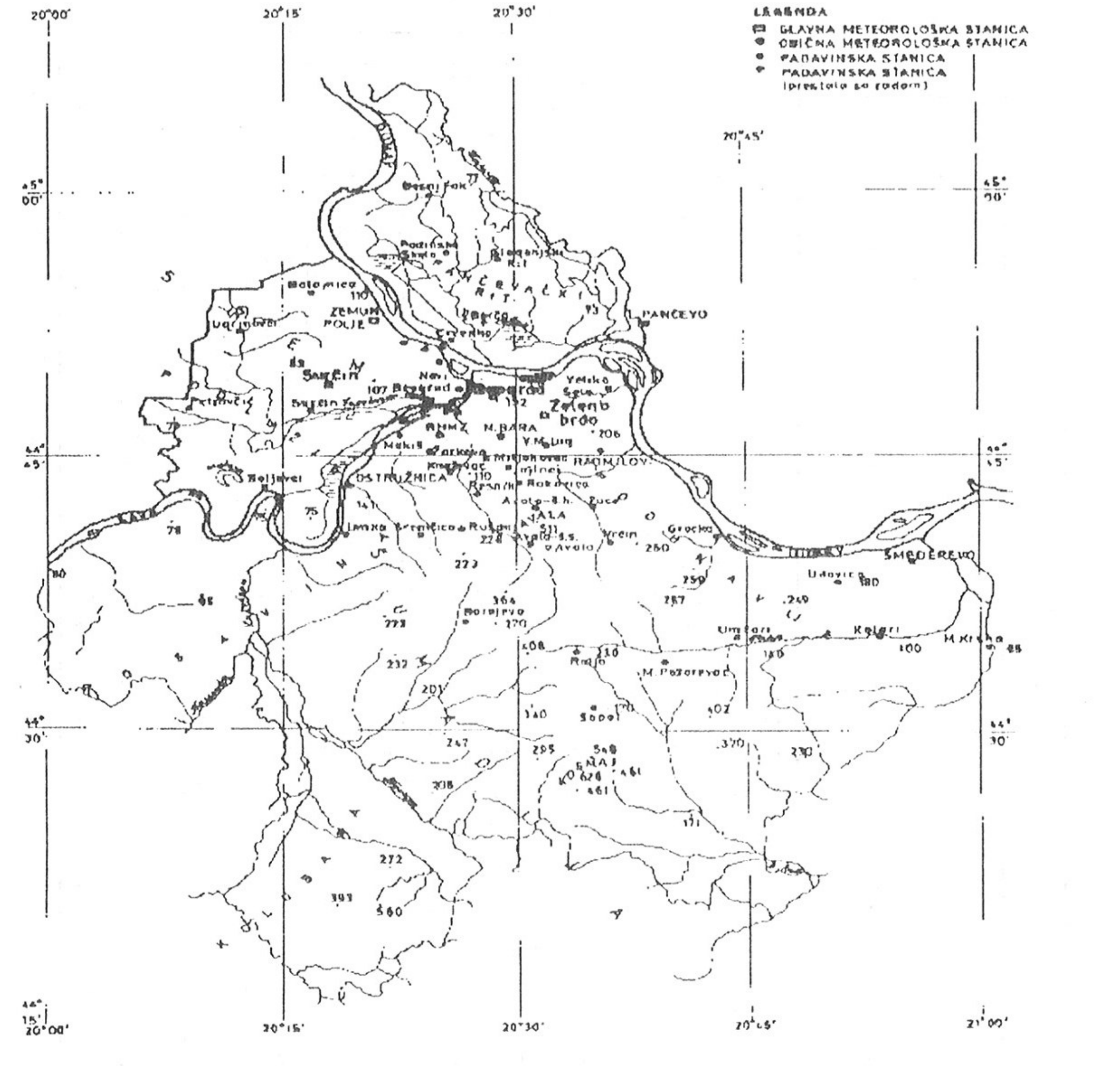
Mnogi autori su u svojim ispitivanjima uporedjivali srednje visine padavina kako mesečne, tako i sezonske i godišnje kako bi otkrili pojavu značajne varijacije visine padavina u ispitivanom periodu. Promene u trendovima, periodičnostima i prekid padavina potvrdile bi pretpostavljene uzroke kao što su režimi cirkulacije i sunčanih pega.

Pretpostavljajući da dnevne visine padavina obrazuju Markovljev lanac u Beogradu nije ustanovljena promena u visini padavina (Unkašević, 1992.) koja bi se mogla interpretirati kao promena uslovljena promenom režima cirkulacije u makrorazmeri iznad Beograda u ispitivanom tridesetogodišnjem periodu (1951. - 1980. godina).

10.3. Uticaj grada na sezonske padavine

Ispitujući srednje promene klimatskih elemenata Landsberg (1970.) je ustanovio da su srednje godišnje sume padavina u gradu za 5 - 10% veće od onih izmerenih u seoskim sredinama. Ovaj porast se obično dovodi u vezu sa obilnim snabdevanjem jezgrima kondenzacije i povećanom konvekcijom zbog uticaja ostrva toplote u gradskoj atmosferi. Ispitivanja uticaja gradske površine na padavine nisu adekvatna zbog nedostatka odgovarajućih padavinskih mreža i teškoće da se odvoji uticaj lokacije grada od uticaja samog grada. U prikazu efekata grada na padavine u Sjedinjenim Državama, Changnon (1969.) je utvrdio da, ako se uticaji topografije eliminišu, povećanje godišnjih padavina zbog uticaja grada iznosi 5 do 8%. Takodje su u gradovima na srednjem zapadu, kao što su Champaign - Urbana i Tulsa, sume padavina u toplom delu godine bile veće za 4 do 6% u gradskim nego u seoskim oblastima, dok su u hladnoj polovini godine vrednosti veće za 6 do 11%. Huff i Changnon (1972.) su ustanovili za St. Louis da uticaji grada uslovljavaju povećanje padavina u i niz vetar od grada u svim sezonama i da su srednje padavine povećane za 6 do 15% na rastojanju do 25 milja niz vetar od grada.

U ispitivanjima Thomasa (1971.) za grad Toronto sa 35 padavinskih stanica operativnih u periodu od 10 do 15 godina nije evidentiran uticaj grada na padavine. Sanderson i drugi (1973.) su ispitujući aspekte gradske klime u Detroitu utvrdili da zimi grad ima manje padavina nego okolne oblasti, dok leti u gradu padne do 23% više kiše nego u okolini. Autori pretpostavljaju da je ova razlika uslovljena olujnim letnjim pljuskovima kiše iznad gradskih oblasti.



Slika 32 Beogradska mreža meteoroloških stanica

U ovom odeljku analizirane su mesečne, godišnje i sezonske sume padavina u beogradskoj mreži padavinskih stanica (sl.32) kako bi se procenio uticaj gradskog kompleksa na iznose sezonskih padavina u samom gradu. Analizom su obuhvaćeni podaci u periodu 1951. - 1985. godina jer je tada radio najveći broj padavinskih stanica (48). Mreža padavinskih stanica beogradskog područja ograničena je na zapadu stanicom Ušće, na istoku Malom Krsnom, na severu Besnim Fokom a na jugu Dudovicom i Ljigom. Najnižu nadmorsku visinu imaju Boljevci sa 70 m, a najvišu Avala - Šuplja stena sa 290 m. Na ovaj način su obuhvaćena različita područja kako ruralne sredine tako i užeg gradskog jezgra.

Analiza mesečnih i godišnjih visina padavina pokazuje (Tabela 30) da se one kolebaju u vrlo širokim granicama. Medjutim, kolebanje godišnje visine padavina je manje od kolebanja kod pojedinih meseci. Najveća klebanja mesečnih količina

Tabela 30. Srednje mesečne i godišnje količine padavina (mm) za područje Beograda za period 1951. - 1985. godina

		MESECI												
Broj	Stanica	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
1	Avala - Šum. uprava	52,4	48,7	51,7	60,0	76,7	90,8	71,2	60,4	57,2	47,5	59,1	62,8	738,3
2	Avala - Šuplja stena	48,5	46,0	46,6	56,5	74,9	87,7	69,0	53,7	54,9	45,8	56,5	59,3	699,4
3	Batajnica	43,7	41,2	41,2	46,2	60,2	92,9	62,3	52,1	45,9	41,3	52,1	58,5	637,6
4	Barajevo	59,3	43,3	45.0	54,7	81,6	92,3	67,5	64,2	51,6	51,6	52,6	61,8	719,1
5	Beograd	49,1	46,4	46,5	55,9	72,2	95,6	70,4	53,9	53,1	42,5	55,7	58,7	700,2
6	Besni Fok	39,0	41,1	36,8	44,1	57,3	82,1	63,8	46,4	44,0	39,3	49,1	51,6	594,5
7	Botanička Bašta	48,6	47,1	46,3	57,4	73,9	95,8	71,8	54,7	52,0	42,8	58,1	62,3	710,7
8	Borča	47,2	44,1	42,2	52,4	64,3	93,3	63,5	51,8	47,2	41,4	53,1	57,9	658,4
9	Boljevci	46,1	46,1	42,3	50,9	68,5	89,7	63,1	59,1	51,4	45,0	54,4	59,7	672,3
10	Veliki Mokri Lug	56,0	50,5	51,6	59,7	74,2	102,4	75,7	52,7	54,7	45,8	57,8	62,7	743,6
11	Vranić	53,0	48,8	50,1	60,3	79,5	93,5	73,8	64,5	56,0	48,1	61,1	65,7	754,4
12	Vrčin	53,3	49,0	50,2	59,8	74,7	92,3	71,2	51,2	53,4	45,2	58,7	60,3	719,3
13	Grcka	41,7	40,0	40,8	52,3	66,3	76,1	60,0	47,5	43,7	43,0	52,5	50,3	614,2
14	Dudovica	57,3	53,6	59,2	67,8	95,7	97,0	82,0	72,0	60,1	54,2	67,4	67,8	834,0
15	Dušanovac	52,8	47,0	48,5	57,5	72,7	95,7	69,4	53,9	50,2	43,1	55,9	62,6	709,2
16	Žarkovo	48,5	44,8	43,5	53,4	70,2	87,7	64,4	51,1	50,3	44,5	54,3	58,5	671,3
17	Zeleno brdo	44,4	41,6	45,0	54,0	75,8	97,3	75,1	50,6	51,3	44,8	54,4	57,7	692,0
18	Zemun Ćukovac	49,0	45,0	44,8	54,8	68,9	91,9	68,1	53,8	53,1	43,6	54,3	59,5	686,7
19	Zemun Polje	39,4	39,6	37,7	49,4	67,7	85,3	67,9	50,8	45,5	42,9	50,5	52,9	629,6
20	Jajinci	47,5	44,3	44,9	57,5	74,4	97,7	71,7	54,2	52,3	43,2	55,0	58,1	692,6
21	Kneževac	49,7	45,6	46,9	57,9	71,9	94,1	71,0	59,1	53,9	44,8	55,5	60,1	710,5
22	Kolari	49,8	48,5	43,9	57,1	68,3	76,7	62,6	53,1	46,8	43,9	54,5	56,4	661,6
23	Lazarevac	59,8	55,0	60,8	63,7	85,1	99,3	76,8	69,2	56,3	49,8	64,1	68,4	799,8
24	Ljig	58,1	59,5	59,4	72,0	91,7	99,5	85,6	73,5	59,0	55,1	63,3	73,1	856,8
25	Makiš	47,4	42,5	42,2	50,7	70,2	86,9	61,9	56,3	49,4	42,1	50,5	57,4	640,5
26	Mala Krsna	46,2	40,9	43,0	53,9	73,0	85,5	65,9	51,5	45,1	42,5	53,8	55,1	655,8
27	Mali Požarevac	42,1	36,5	40,7	52,4	68,1	79,7	60,0	56,0	49,3	42,5	50,6	52,2	631,1
28	Obrenovac	45,8	41,8	43,5	52,8	65,5	89,4	67,4	62,8	52,6	46,7	53,0	57,3	678,6
29	Orašac	47,8	45,4	47,5	56,5	62,5	95,8	63,1	59,5	52,2	45,4	55,9	55,7	690,3
30	Ostružnica	49,6	44,1	44,3	51,5	71,8	85,7	63,6	57,8	50,5	44,1	54,2	59,2	676,3
31	Pančevo	40,8	40,2	40,7	52,2	71,5	90,7	63,5	52,5	43,7	40,0	55,1	56,0	647,0
32	Padinska skela	38,0	40,6	38,6	48,5	60,2	81,0	67,4	50,0	43,3	40,9	52,5	52,2	613,0
33	Petrovčić	47,2	46,2	44,5	52,6	65,8	88,6	62,3	58,23	50,7	45,4	53,3	61,8	676,6
34	Radmilovac	46,4	42,9	42,5	56,0	71,8	85,7	71,5	50,1	47,3	43,7	54,9	55,8	668,4
35	Ralja	50,3	43,4	47,5	58,0	73,0	90,7	70,7	55,1	52,9	49,1	55,3	59,9	706,1
36	Rušanj	52,8	47,5	46,9	58,5	72,5	93,1	63,9	64,5	57,3	46,5	57,1	61,2	721,9
37	Smederevo	46,7	43,0	43,1	55,5	71,2	88,0	62,7	51,5	49,1	44,5	55,2	53,5	664,0
38	Sopot	52,6	50,2	50,4	59,9	74,0	88,7	63,6	59,0	51,4	44,9	55,2	60,3	710,2
39	Sremčica	53,4	46,1	47,8	60,0	78,6	97,1	77,1	63,1	52,8	51,0	58,9	65,8	751,7
40	Stubline	46,6	48,7	51,5	58,4	71,4	91,8	74,0	58,4	54,8	50,6	59,3	56,4	721,9
41	Stepojevac	51,4	46,6	46,7	55,1	76,6	87,7	71,3	56,0	50,5	50,2	59,1	59,2	710,4
42	Surčin selo	45,9	43,5	42,5	49,9	68,2	88,9	63,4	58,6	51,9	41,4	52,5	56,2	662,9
43	Topčider	55,3	47,7	49,8	57,1	75,7	93,3	76,4	58,0	53,0	43,2	57,1	60,8	727,5
44	Ugrinovci	41,5	41,5	36,7	43,8	59,8	81,2	60,8	56,2	46,4	44,3	51,2	55,5	618,7
45	Udovice	48,3	47,1	47,2	64,0	83,1	96,1	65,0	55,3	53,3	46,7	60,9	60,3	727,4
46	Umka	49,0	43,2	44,7	56,7	72,2	91,3	66,8	59,2	51,4	47,2	56,7	59,4	697,7
47	Umčari	46,6	45,5	46,0	55,8	66,7	77,9	62,4	53,0	44,1	44,2	50,3	58,7	651,2
48	Ušće	48,1	46,0	49,7	55,3	64,5	85,7	65,9	58,1	52,5	49,8	58,7	60,6	695,0

zabeležene u januaru. Velika odstupanja u pojedinim mesecima javljaju se kao posledica različitih intenziteta pljuskova krajem proleća, tokom leta i početkom jeseni.

Godišnja visina padavina u beogradskoj mreži stanica zavisi pre svega od reljefa (sl. 32). Tako stanice na višoj nadmorskoj visini dobijaju veću količinu padavina od onih u blizini Save i Dunava. Kišomerne stanice na zapadnoj padini beogradske kose dobijaju godišnje u proseku 20 do 50 mm više padavina nego stanice na istočnoj strani, tj. prema Dunavu. Ovo može biti posledica uzdizanja i hladjenja zapadnog strujanja koje na istoku od Beograda daju manje padavina.

Tako, najmanje godišnje količine padavina ima deo od Besnog Foka, preko Padinske Skele do Zemuna. Sledeći pojas obuhvata Batajnicu, Ugrinovce, Petrovčić, Surčin, Pančevo i nizvodni tok Dunava od Velikog sela ka Smederevu. Sličnu godišnju visinu padavina pokazuje i oblast jugoistočno od Beograda, tj. od Grocke ka Maloj Krsni. Veće količine padavina registrovane su uz Savu, sa jugozapadne strane dolinom reke Beljanice do Barajeva kao i delovima oko Lipovačke šume, Avale, Kosmaja i Kolubare. Medjutim, najveće količine padavina registrovane su na području Lazarevca ka Ljigu, čime je potvrdjeno da je pravac od jugozapada ka severoistoku pravac gubljenja vodnosti oblaka, odnosno uobičajeni put depresije nad Beogradom (Janc, 1992.).

Sezonska raspodela padavina (Tabela 31) pokazuje da tokom proleća i leta na području Beograda padne najviše kiše (vidi Tabelu 44 u Prilozima). Tokom proleća najmanje kiše padne na području Besnog Foka i Ugrinovaca (140 mm) dok idući ka jugu raste količina kiše. Sličan prostorni raspored padavina postoji i tokom leta ali sa znatno većom visinom sa maksimumom do 240 mm (sl. 33).

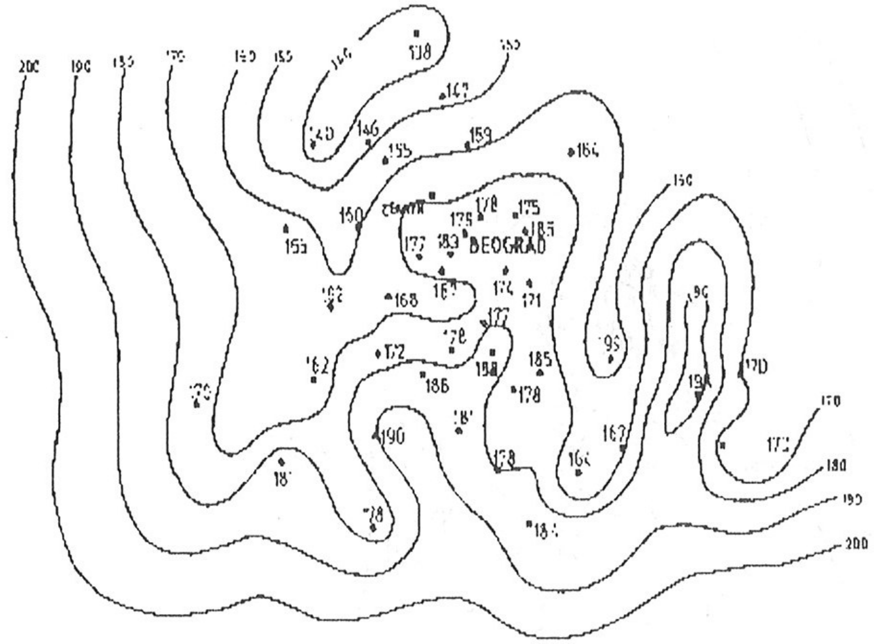
Poredjenje seoskih i gradskih stanica približne nadmorske visine (Tabela 32) pokazuje da kišomerne stanice u samom gradu dobijaju tokom proleća i leta od 25 do 70 mm više kiša nego u seoskim oblastima. Povećanje padavina tokom hladnijeg dela godine, tj. u sezonama jesen - zima je znatno manje i kreće se od 10 mm do 46 mm (sl. 33).

Medjutim, iz Tabele 32 se može videti da se na nekim stanicama u gradu i tokom zime izmeri znatna količina padavina, što se može dovesti u vezu sa uticajem gradskog ostrva toplote koje je izraženije u zimskom periodu.

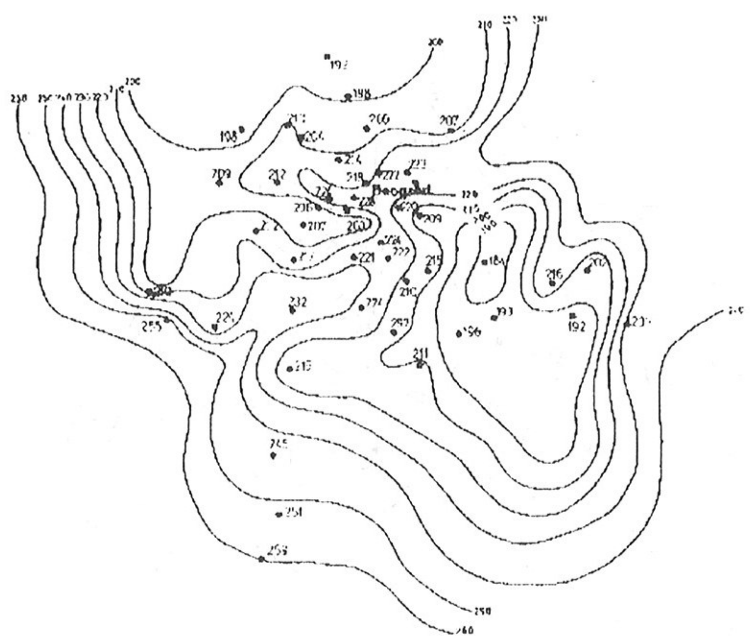
Povećanje padavina u samom gradu u proseku za 17% godišnje u odnosu na okolinu ukazuje na mogući uticaj zagadjenja i zagrevanja (saobraćaj, rad industrijskih postrojenja i prašina) što dovodi do povećanja broja jezgara kondenzacije u atmosferi iznad grada, a time i do obrazovanja oblaka i padavina. Interesantno je da se tokom jeseni i zime u Beogradu izmeri izmedju 150 i 160 mm padavina što ukazuje na ravnomernije izlučivanje padavina u hladnijoj polovini godine.

Tabela 31. Srednje sezonske i godišnje količine padavina (mm) za područje Beograda za period 1951. - 1985. godina

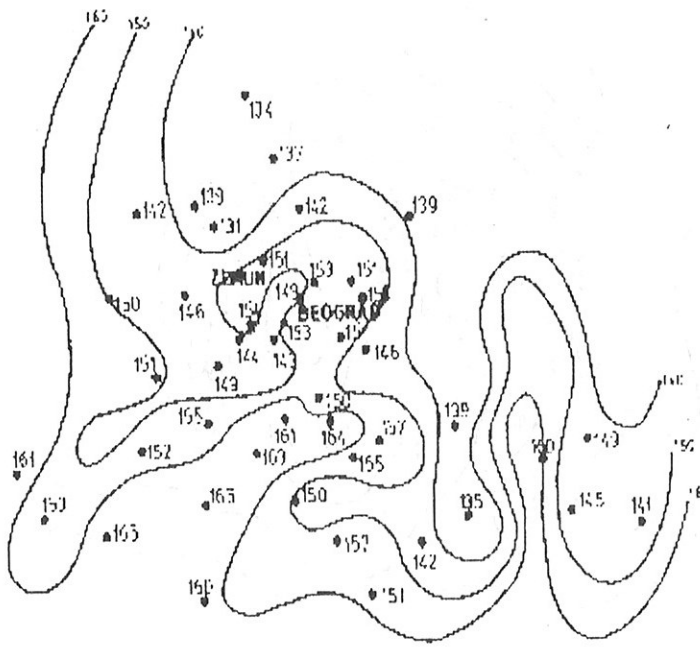
		GODIŠNJE DOBA				
Broj	Stanica	ZIMA	PROLEĆE	LETO	JESEN	GODINA
1	Avala - Šum. uprava	165,8	188,3	222,3	163,8	738,3
2	Avala - Šuplja stena	155,6	177,9	210,3	155,3	699,4
3	Batajnica	145,6	146,5	210,1	138,6	637,6
4	Barajevo	164,2	181,3	224,0	149,6	719,1
5	Beograd	156,1	174,0	220,1	151,3	700,2
6	Besni Fok	132,7	138,2	192,3	133,7	591,5
7	Botanička Bašta	159,8	177,6	222,2	153,0	710,7
8	Borča	150,8	158,9	208,6	141,7	658,4
9	Boljevci	152,9	161,7	211,9	150,9	672,3
10	Veliki Mokri Lug	171,2	185,4	230,8	158,3	743,6
11	Vranić	168,9	190,0	231,8	165,2	754,4
12	Vrčin	164,4	184,8	214,7	157,2	719,3
13	Grcka	133,4	159,4	183,6	139,2	614,2
14	Dudovica	179,9	222,7	250,9	181,6	831,0
15	Dušanovac	164,0	178,7	219,0	149,1	709,2
16	Žarkovo	152,9	167,2	203,2	149,1	671,3
17	Zeleno brdo	143,7	174,8	223,0	150,5	692,0
18	Zemun Ćukovac	155,0	168,5	214,0	151,0	686,7
19	Zemun Polje	133,0	154,8	201,0	130,9	629,6
20	Jajinci	151,6	176,8	223,6	150,5	692,7
21	Kneževac	159,5	176,7	224,2	154,2	710,5
22	Kolari	156,8	169,3	192,4	145,1	661,6
23	Lazarevac	181,0	207,8	245,3	168,5	799,8
24	Ljig	194,6	223,1	258,7	177,5	856,8
25	Makiš	146,1	162,1	205,5	143,7	640,5
26	Mala Krsna	143,7	169,8	236,7	141,4	655,8
27	Mali Požarevac	132,1	161,2	196,5	142,4	631,1
28	Obrenovac	146,0	161,8	219,6	152,3	678,6
29	Orašac	149,0	169,6	254,7	153,4	690,3
30	Ostružnica	153,8	167,7	206,9	148,9	676,3
31	Pančevo	138,0	161,0	207,0	139,0	617,0
32	Padinska skela	131,9	147,2	198,4	136,6	613,0
33	Petrovčić	155,7	162,8	209,1	149,5	676,6
34	Radmilovac	146,3	170,6	207,6	146,4	668,1
35	Ralja	155,1	178,1	216,6	157,4	706,1
36	Rušanj	163,3	178,0	221,5	160,9	721,9
37	Smederevo	144,9	169,8	202,2	148,8	661,0
38	Sopot	164,3	184,3	211,4	151,4	710,2
39	Sremčica	166,6	186,3	237,4	162,9	751,7
40	Stubline	152,9	181,3	224,1	164,7	721,9
41	Stepojevac	158,2	178,4	215,1	159,8	710,4
42	Surčin selo	146,9	160,5	211,9	145,8	662,9
43	Topčider	165,8	182,6	227,8	153,4	727,5
44	Ugrinovci	139,3	140,0	198,1	142,2	618,7
45	Udovice	157,3	194,3	216,5	159,5	727,4
46	Umka	152,7	173,5	217,3	155,2	697,7
47	Umčari	151,8	166,8	193,3	138,7	651,2
48	Ušće	155,8	169,6	209,8	161,0	695,0



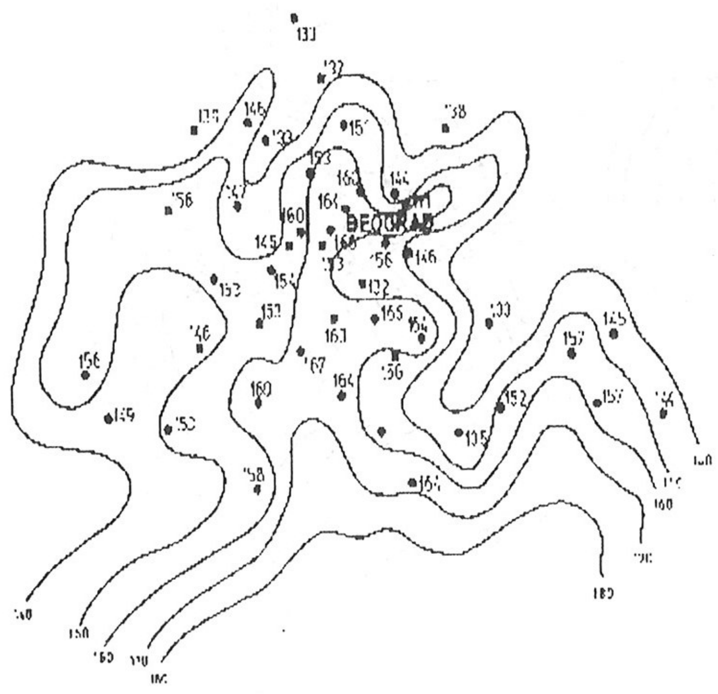
Proleće



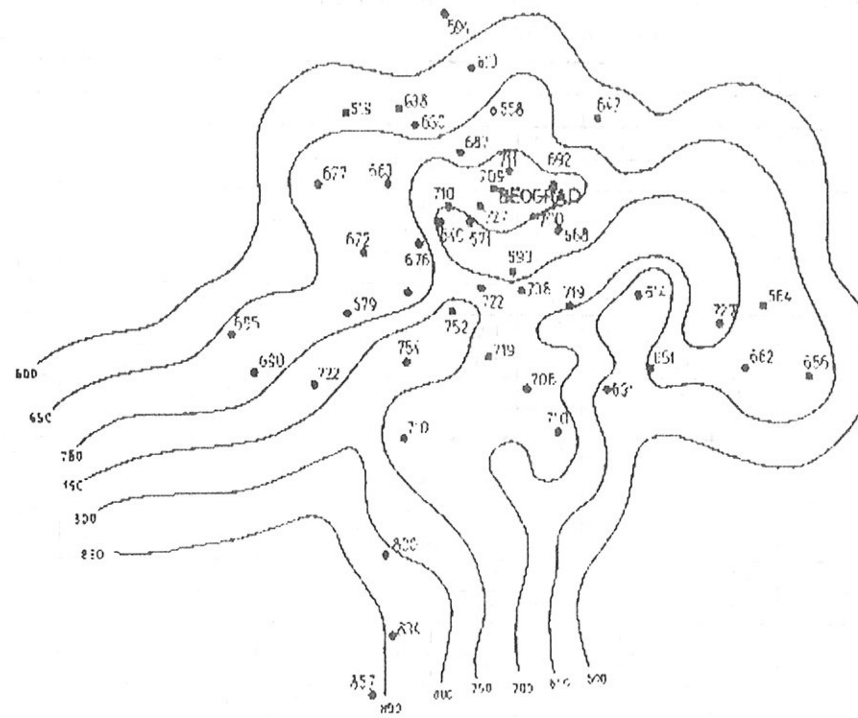
Leto



Jesen



Zima



Godina

Slika 33. Sezonske i godišnja raspodela padavina (mm) na području Beograda

Do navedenih zaključaka dolazimo i ako posmatramo minimalne mesečne i godišnje sume padavina (Tabela 33). Naime, povećanje minimalnih godišnjih padavina na stanicama u samom gradu iznosi oko 25% u odnosu na seoske stanice, nešto više nego u prvom slučaju, što potvrdjuje uticaj grada na polje padavina (Tabela 33).

Tabela 32. Sezonske i godišnje razlike u padavinama (mm) izmedju gradskih i seoskih stanica na području Beograda

ΔP(mm)	ZIMA	PROLEĆE	LETO	JESEN	GODIŠNJE
* 15-13	30,6	19,3	35,4	9,9	95,0
7-6	27,1	37,4	29,9	19,3	116,2
5-47	4,3	7,2	26,8	12,6	49,0
7-30	6,0	9,9	15,3	4,1	34,4

* *Brojevi 5, 6, 7, 13, 15, 30,47 se odnose na stanice u prethodnoj Tabeli*

Tabela 33. Minimalne mesečne i godišnje sume padavina (mm) za područje Beograda za period 1951. - 1985. godina

		MESECI												
Broj	Stanica	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
1	Avala - Šum. uprava	3,8	8,0	1,2	27,2	8,2	23,9	4,6	6,1	7,2		7,3	3,6	529,2
2	Avala - Šuplja stena	3,2	10,2	1,2	16,2	2,0	15,7	4,5	3,7	8,4		8,3		469,8
3	Batajnica	2,9	6,2	2,3	11,9	6,8	31,9		5,3	3,1		9,0	0,6	416,7
4	Barajevo	6,4	9,9	0,4	21,3	8,0	20,8	16,5	19,0	8,9		11,0	0,8	469,4
5	Beograd	4,2	8,9	1,8	18,3	8,7	15,4	4,6	5,2	7,2		6,9	0,8	461,8
6	Besni Fok	4,4	6,8	0,8	6,3	3,3	19,4	4,0	6,2	0,7		8,8	0,1	387,4
7	Botanička Bašta	5,9	9	1,6	17,1	10,6	17,4	4,7	5,4	6,3		7,7	0,6	502,2
8	Borča	3,0	6,2	2,5	11,6	7,1	16,0	4,2	0,8	5,2		8,2	0,9	421,3
9	Boljevci	2,9	9,6	3,2	7,7	4,7	20,9	6,9	11,9	4,7		8,9	0,8	467,5
10	Veliki Mokri Lug	5,5	8,7	2,1	19,6	12	17,4	4,9	2,6	7,4		7,3	0,2	544,2
11	Vranić	4,7	8,5	1,5	14,6	12,9	16,1	10,3	10,3	8,3		12,6	2,6	575,3
12	Vrčin	1,2	9,8	2,1	17,9	14,3	18,2	8,1	3,7	9,2		6,7		527,5
13	Grcka	1,9	7,2	0,7	13,2	7,6	20,8	13,7	6,5	2,5		8,6	0,8	420,2
14	Dudovica	7,1	6,0	6,5	16,7	5,1	30,1	14,1	12,8	6,4		9,9	3,4	591,7
15	Dušanovac	4,4	10,3	0,9	20,4	14,9	13,3	4,5	5,7	2,7		7,2	1,5	482,5
16	Žarkovo	2,2	4,2	0,9	18,3	6,0	18,7	4,2	3,1	6,1		11,3	1,2	412,4
17	Zeleno brdo	4,6	6,6	1,9	14,9	10,7	15,3	4,6	12,5	7,0		7,0	0,2	495,5
18	Zemun Ćukovac	4,3	10,1	2,2	17,2	9,0	14,0	4,5	6,2	5,8		9,1	1,4	440,6
19	Zemun Polje	4,2	8,1	2,5	15,4	7,2	17,4	4,0	6,5	3,7		9,7	0,0	116,8
20	Jajinci	4,9	9,2	1,8	19,0	16,0	24,3	4,6	3,5	5,7		5,6	2,1	476,0
21	Kneževac	5,5	8,6	2,3	15,0	6,9	18,7	4,6	5,1	9,1		6,3	1,9	413,7
22	Kolari	3,1	11,0	0,1	12,7	12,4	6,5	4,2	3,0	1,7		8,7	2,5	413,2
23	Lazarevac	16,2	9,8	2,3	6,8	5,1	22,6	14,1	9,5	5,8		8,0	4,0	540,5
24	Ljig	8,0	6,7	6,0	11,9	6,8	38,2	8,0	5,5	1,8	0,1	9,3	3,5	617,7
25	Makiš	3,9	7,5	1,9	15,5	3,3	19,9	4,1	10,8	6,9		5,9	0,5	426,1
26	Mala Krsna	1,9	5,6		14,7	3,4	6,3	3,6	2,2	4,8		13,0	2,5	511,8
27	Mali Požarevac	1,7	5,9		14,6	10,0	14,4	11,0	4,2	6,7		7,2	1,9	349,3
28	Obrenovac	2,9	6,8	2,3	13,7	2,0	16,3	9,3	17,6	6,0		10,9	4,6	429,5
29	Orašac	4,3	9,7	2,2	13,7	3,1	22,1	8,8	12,4	4,6	1,7	11,5	1,1	446,4
30	Ostružnica	5,8	10,9	2,5	11,9	3,2	19,2	5,6	10,9	8,0		6,2	0,5	490,3
31	Pančevo	4,0	6,0	2,0	12,0	12,0	18,0	10,0	1,0	4,0		11,0		461,0
32	Padinska skela	1,2	8,6	0,8	6,9	7,2	19,1	4,8	6,7	1,5		8,9	0,1	406,1
33	Petrovčić	6,0	10,4	3,3	16,9	5,0	24,8	1,2	8,4	8,2		4,2	0,3	455,7
34	Radmilovac	2,3	8,3	1,8	15,8	6,7	14,2	9,6	3,5	5,5		8,2	1,0	433,5
35	Ralja	3,6	8,5	2,0	16,8	19,0	15,6	14,2	5,1	6,9		8,5	2,8	475,2
36	Rušanj	4,4	9,4	2,6	18,8	9,0	25,4	4,1	1,2	3,1		0,1	1,1	499,0
37	Smederevo	2,2	8,8		11,7	12,1	0,6	3,5	5,5	4,5		13,3	3,0	495,4
38	Sopot	8,9	8,7		19,9	2,2	25,3	13,6	5,7	3,8		10,3	0,9	517,2
39	Sremčica	5,8	11,0	2,1	13,8	5,6	23,9	6,8	11,2	7,5		8,2	1,3	497,6
40	Stubline	1,4	11,1	3,9	14,2	3,0	19,5	10,4	12,1	5,7		12,2	1,4	474,0
41	Stepojevac	4,4	8,2	1,3	20,5	6,1	15,1	12,2	7,3	3,0		11,0	2,4	449,6
42	Surčin selo	2,6	10,4	2,4	19,8	3,2	15,1	1,2	15,1	8,8		0,8	0,3	497,9
43	Topčider	3,3	11,1	3,1	18,6	8,9	14,7	5,0	5,2	7,6		6,8	2,3	487,1
44	Ugrinovci	4,9	6,2	2,5	10,3	4,6	12,5		9,2			11,1	0,3	401,1
45	Udovice	1,5	8,3		11,7	8,4	3,8	3,6	7,4	6,7		4,6	2,2	505,0
46	Umka	7,6	10,3	2,6	13,5	4,9	19,6	14	12,5	7,2		7,1	1,5	451,1
47	Umčari	1,9	9,2		15,3	14,9	6,4	13	8,3			7,2	2,1	353,0
48	Ušće	3,0	4,8	1,8	12,9	10,1	32,8	9,1	7,6	3,5		12,1	1,1	463,8

10.4. Sneg i snežni pokrivač

U umerenim geografskim širinama do padanja snega i formiranja snežnog pokrivača dolazi zimi pri temperaturi vazduha ispod 0°C. Trajanje i visina snežnog pokrivača su veoma promenljivi ne samo u geografskom smislu već i na jednom istom lokalitetu, zavisno od otopljenja ili zahladjenja praćenih snežnim padavinama kao i od jačine vetra.

Značaj snežnog pokrivača je raznovrstan. Naime, on menja radijacioni režim Zemljine površine zbog velikog albeda a zbog male toplotne provodljivosti dobar je kao izolator, što znači da bitno utiče na temperaturu zemljišta.

Kako su padanje snega i obrazovanje snežnog pokrivača vidne karakteristike zimskog perioda, to će u ovom odeljku biti navedeni najkarakterističniji podaci o snegu i snežnom pokrivaču u Beogradu.

Osmatranje i merenje snežnih padavina i snežnog pokrivača u Beogradu vršeno je od početka meteoroloških merenja, mada u izvesnim periodima neredovno, zbog čega razmatrani niz (1888. -1991. godina) nije potpun. Postojeći podaci pokazuju da se sneg u Beogradu može očekivati od novembra do aprila, a u oktobru i maju samo u izuzetnim godinama.

Tabela 34. Broj dana sa padavinama - Beograd (1888. - 1991. godina)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
Broj dana sa padavinama (kiša i sneg zajedno) ≥ 0,1 mm													
Srednji	13,0	11,5	11,6	12,8	13,2	13,2	10,0	9,1	8,8	10,0	12,3	13,5	139,0
Najveći	21	20	22	23	26	20	18	19	19	24	25	25	181
Najmanji	4	1	1	6	4	6	2	3	2		3	3	105
Broj dana sa kišom ≥ 0,1 mm													
Srednji	7,3	6,9	9,5	12,7	13,1	13,1	9,9	8,9	8,6	9,9	11,3		120,5
Najveći	16	15	18	23	26	21	18	20	20	25	24	18	170
Najmanji			1	5	4	6	2	3	2		1		86
Broj dana sa snegom ≥ 0,1 mm													
Srednji	8,0	6,4	3,8	0,7	0					0,2	2,1	6,0	27,8
Najveći	20	17	15	6	1					4	9	25	61
Najmanji													

Srednji datum prvog snega: 23. XI
Najraniji datum prvog snega: 7. X 1897.
Najkasniji datum prvog snega: 27. XII [redacted]., 1979.
Srednji datum poslednjeg snega: 21. III
Najraniji datum poslednjeg snega: ~~1. II 1972.~~ 8. II 1961.
Najkasniji datum poslednjeg snega: 11. V 1953.

U Beogradu ima prosečno 139 dana sa padavinama od kojih 28 dana sa snegom (Tabela 34). Dani sa snegom su raspoređjeni od oktobra do maja. Najviše dana sa snegom ima u januaru (8,0), a zatim u februaru (6,4) i decembru (6,0). naveći broj dana sa snegom u jednom od zimskih meseci iznosi 25 dana u decembru, 1969. godine, i 20 dana u januaru 1947. godine (Tabela 45 u Prilozima). Medjutim, padanje snega može da izostane pre svega u aprilu i novembru pa najzad i u martu. Tokom razmatranog perioda bilo je slučajeva kada sneg nije padao u decembru (1891., 1908. i 1916.)pa čak i u februaru (1890., 1966. i 1974.), dok nije bilo nijednog januara bez snega. Ista tabela pokazuje da je najviše dana sa snegom (više od 40) bilo sledećih zima: 1981./82. (41), 1892./93. (41), 1888./89. (42), 1941./42. (42), 1946./47. (42), 1954./55. (42), 1931./32. (44), 1955./56. (44), 1961./62. (44), 1980./81. (44), 1952./53. (45) i 1969./70. (53).

Ako se izdvoje zime u kojima je bilo 15 dana sa snežnim padavinama i manje, vidi se da ih je bilo 12 i to: 1893./94. (15), 1907./08. (15), 1926./27. (15), 1971./72. (15), 1920./21. (14), 1973./74. (14), 1950./51. (13), 1989./90. (13), 1901./02. (12), 1935./36. (11), 1950./51. (11) i 1929./30. (9) (Rezultati osmatranja Meteorološke opservatorije u Beogradu 1887. - 1986. godine).

Višegodišnja merenja pokazuju (Tabela 46 u Prilozima) da se snežne padavine mogu u Beogradu očekivati od prve dekade oktobra do početka druge dekade maja. Srednji datum prvog dana sa padanjem snega je 23. novembar, a poslednji 21. mart što znači da srednja dužina perioda padanja snega obuhvata 118 dana. Najraniji datum padanja snega bio je 7. oktobar 1897. godine, a najkasniji 11. maj 1953. godine. Iz Tabele 46 u Prilozima se takodje može videti da je prvi sneg pao 8 puta u oktobru, 56 puta u novembru, 34 puta u decembru i nijednom posle tog meseca. Poslednji sneg se takodje javlja u različito vreme. Tako je u februaru poslednji sneg pao 18 puta, u martu 44 puta, aprilu 37 puta a u maju se javio samo jedne godine.

Pod snežnim pokrivačem se podrazumeva sloj napadalog snega koji potpuno pokriva Zemljinu površinu, a visina mu je najmanje 1 cm. Snežni pokrivač se javlja od oktobra do aprila, sa najvećom verovatnoćom pojave u januaru, februaru i decembru.

Srednji datum pojave prvog snežnom pokrivača u Beogradu (Tabela 47 u Prilozima) je 3. decembar a srednji datum poslednjeg snežnog pokrivača je 5. mart. Inače, početak i kraj snežnog pokrivača je veoma različit. Tako se zime 1897./98. snežni pokrivač javio kasno i trajao je od 4. do 20. februara 1898. godine. Medjutim, zime 1912./13. godine snežni pokrivač se rano javio i kratko trajao, tj. od 8. do 12. novembra 1912. godine i u ostalom delu te zime ga nije bilo. (?) Interesantna je i zima 1950./51. godine kada je samo 19. januar 1951. godine imao snežni pokrivač. To je inače, uz zimu 1976./77. godine, najtoplija zima tokom celog posmatranog niza osmatranja.

Zima 1928/29. je bila najhladnija u ovom veku, ne samo kod nas, već i u čitavoj Evropi. Tada je snežnog pokrivača sa kraćim prekidima bilo od početka januara do sredine marta 1929. godine. U tom periodu, zbog prodora veoma

hladnog polarnog vazduha, dnevne minimalne temperature vazduha su imale izrazito niske vrednosti, tako da je u Beogradu registrovano -25,5 °C.

Poslednja oštra zima bila je 1962/63. godine. Te zime prvi sneg je pao sredinom novembra 1962. godine, a poslednji početkom aprila 1963. godine, što znači da je period sa snežnim pokrivačem bio za skoro tri nedelje duži od proseka (39 dana, Tabela 47 u Prilozima).

Najveća visina snežnog pokrivača u Beogradu (Tabela 47 u Prilozima) iznosi 80 cm (3. 2. 1962. godine), kada je snežni pokrivač trajao 28 dana, tj. od 30. 1. 1962. godine do 26. 2. 1962. godine, a u periodu od 1. 2 1962. godine do 8. 2. 1962. godine je bio viši od 40 cm.

Početak snežnog porivača u trajanju tri i više dana je najčešće bio u decembru (46 puta) i novembru (27 puta), dok je kraj snežnog pokrivača istog trajanja najčešće bio u februaru (40 puta) i martu (36 puta), što je hronološki prikazano u Tabeli 48 u Prilozima.

U pogledu temperatura, u Beogradu se srednje dnevne negativne temperature mogu očekivati u periodu od oktobra do aprila. Raspored srednjih dnevnih negativnih temperatura u toku zime je vrlo različit iz godine u godinu. Retke su godine kada je bilo neprekidnih hladnih perioda sa srednjom dnevnom temperaturom nižom od 0 °C u trajanju od 84 dana, kao što je bila zima 1890/91. godine.

Raspodela broja dana sa negativnim srednjim dnevnim temperaturama kao i raspodela njihovih suma pokazuje da se u posmatranom periodu u toku zime 71 put srednja dnevna temperatura ispod nule javila u trajanju od 41 do 60 dana. Maksimalne vrednosti broja dana sa srednjim dnevnim negativnim temperaturama po mesecima iznose: 3 dana u oktobru (1920. godine), 14 dana u novembru (1888. godine), 31 dan u decembru (1889. godine), 31 dan u januaru (1891., 1896. i 1940. godine), 28 dana u februaru (1958. godine), 15 dana u martu (1932. godine) i jedan dan u aprilu (1929. godine).

Sume srednjih dnevnih negativnih temeperatura (Tabela 35), kao karakteristike jačine zime, pokazuju da se najčešće kreću u intervalu od 50,1 do 150,0 °C.

Oštre zime sa sumama srednjih dnevnih negativnih temperatura većim od 400 °C date su u Tabeli 36.

Najblaža zima bila je 1950/51. godine sa sumom negativnih srednjih dnevnih temperatura od samo 9,7 °C. Blage zime sa sumama manjim od 50 °C bile su još 1901/02., 1909/10., 1915/16., 1919/20., 1930/31., 1935/36., 1954/55., 1960/61., 1972/73., 1974/75., 1976/77., 1982/83. i 1987/88. godine.

Tabela 35. Raspodela čestina broja dana sa negativnim srednjim dnevnim temperaturama vazduha i raspodela čestina suma srednjih dnevnih negativnih temperatura vazduha , Beograd, period 1887./88. - 1991./92. godina

Broj dana	Broj slučajeva	Suma temperatura °C	Broj slučajeva
1 - 10	3	0,0 - 50,0	14
11 - 20	9	50,1 - 100,0	28
21 - 30	24	100,1 - 150,0	25
31 - 40	24	150,1 - 200,0	8
41 - 50	36	200,1 - 250,0	10
51 - 60	35	250,1 - 300,0	8
61 - 70	7	300,1 - 350,0	4
71 - 80	6	350,1 - 400,0	2
81 - 90	1	400,1 - 450,0	4
		450,1 - 500,0	2

Tabela 36. Oštre zime sa sumama negatinih temperatura zimskih dana, brojem ledenih dana i snežnim pokrivačem, Beograd, period 1887./88. - 1991./92. godina

Zime	Suma negativnih temperatura °C	Broj ledenih dana	Broj dana sa snežnim pokrivačem
1887./88.	409,1	64	nema podataka
1890./91.	445,5	84	90
1892./93	448,3	64	nema podataka
1928./29.	477,3	69	81
1941./42.	411,0	74	89
1962./63.	403,0	71	71

11. SUŠA

11.1. Osobenosti suša

Po svojim karakteristikama suša se veoma retko javlja, može dugo da traje i verovatno je najmanje predvidljiva od svih atmosferskih pojava. Zbog ovih osobina, naročito vremenskog karaktera, suša se ne može uporediti sa drugim vremenskim i klimatskim ekstremima kao što su poplave, mrazevi, visoke temperature ili jaki vetrovi koji mogu da uslove i gubitak ljudskih života (Riebsame, 1986.). Mnogi naučnici, baveći se proučavanjem kompleksnog karaktera suše, razvili su sopstvene metode i pokazatelje o karakteristikama sušnih epizoda čak i za iste geografske oblasti.

Zbog mogućnosti da traje duže vreme i zahvati velike oblasti, sušu smatraju jednim od najgorih ljudskih neprijatelja (WMO, 1975.). Suša izražava neku vrstu neravnoteže nastalu zbog neobičnih klimatskih varijacija ili ljudskih aktivnosti. Očigledno je da bilo koji oblik suše nastaje zbog deficita padavina i da se svi drugi aspekti suše odnose na neadekvatne količine padavina. Najširu upotrebu ima Palmerov indeks intenziteta suše (**PDSI**) za koji je potrebno poznavanje srednjih vrednosti temperature i padavina u odredjenom periodu za ugroženu teritoriju.

Indeks **PDSI** se zasniva na analizi balansa površinske vode kao i na poredjenju stvarnih i potencijalnih vrednosti elemenata balansa vode (ET – PE za evapotranspiraciju, W – AWC za procenu iznosa zemljišne vlage, itd.). Ovaj indeks je veoma popularan zbog kvazi-invarijantnosti u klimatskim uslovima različitih oblasti (Wilhite, 1983.; Hecht,1983.; Karl, 1983.; Oladipo, 1985.; Rao i dr., 1986.; Farago, 1990. i 1990. a,b).

11.2. Definicije suše u meteorologiji i uvodjenje karakterističnih parametara

Meteorološka suša se često indentifikuje sa atmosferskom sušom i jednostavno definiše količinama padavina ispod srednjih vrednosti, a ponekad i u kombinacijama sa parametrima kao što su temperatura, ralativna vlažnost i brzina vetra. U stvari, opšti izraz suša nije identičan deficitu padavina, već je pre svega obično posledica padavina ispod normalnih vrednosti (Oladipo, 1985.). Ove osobine su okvalifikovane u uopštenijoj definiciji suše datoj u WMO (1975.) koja povezuje različite oblike suše sa deficitom padavina: "*Suša je po definiciji trajan, regionalno rasprostranjen nedostatak padavina. Sve druge definicije suše su u vezi sa uticajem padavina manjim od normalnih na poljoprivredu, vodene resurse, socijalne i ekonomske aktivnosti*".

Preciznije rečeno, atmosferska suša je stanje atmosfere (ne trenutno, već integralno stanje za duži vremenski period i koje ima za posledicu količine

padavina manjih od normalnih (za taj period) i atmosfersku vlažnost manju od normalne vrednosti.

Mnogi autori proširuju koncept meteorološke suše na zemljišnu sušu jer je ravnoteža vlage u zemljuštu u bliskoj vezi sa atmosferskim procesima. Tako, male padavine, visoke temperature i mala relativna vlažnost vazduha mogu da prouzrokuju sušenje zemljišta. Ipak, zemljišna suša je specifičan oblik fenomena suše i nije isključivo kontrolisan samo meteorološkim procesima.

Poljoprivredna suša se javlja u slučajevima kada je raspoloživa zemljišna vlaga daleko manja od potreba za isparavanjem. Ovaj nedostatak može biti posledica ili neobično malog snabdevanja vlagom ili neobično velikih zahteva za vlagom (WMO, 1975.).

Uobičajeno je da se u naučnim analizama suša kvantiativno opiše, pa se uvode razilčiti pokazatelji. Numerički pokazatelji aktivne vlage uvedeni su za karakterizaciju klimatskih zona i označeni su kao "pokazatelji aridnosti". Aridnost izražava relativno permanentno stanje klimata. Suša je "skraćeni izraz" za ovu pojavu. Medjutim, suša označava deficit vlage u odnosu na lokalnu (klimatski ili ekološki odredjenu) srednju ravnotežu vlage. Stoga sa pokazateljima aridnosti moramo biti vrlo oprezni kod primena u proučavanjima suše. Drugim rečima, intenziteti suše u različitim delovima sveta mogu biti uporedivi samo ako su odgovarajuće anomalije normalizovane u odnosu na lokalne uslove. U praksi se koriste različiti pokazatelji u zavisnosti od svrhe ispitivanja i korišćenja meteoroloških podataka.

Već pomenuti disciplinarni aspekti proučavanja suše takodje utiču na izbor i korišćenje pokazatelja. Sa meteorološke tačke gledišta različiti tipovi suša mogu se u širem smislu opisati pomoću meteoroloških parametara (parametri stanja atmosfere i oni koji imaju značajan uticaj na poljoprivredni ili hidrološki bilans pomoću evaporacije ili evapotranspiracije i pomoću iznosa produktivne zemljišne vlage ili nivoa vode u rezervoarima i td..

Takodje su u klimatološkom smislu veoma značajne čestine sušnih perioda. Pod sušnim periodom smatra se najmanje pet uzastopnih dana bez kiše ili sa visinom manjom od 0,3 mm padavina. Interesantno je da u Beogradu ima dosta sušnih perioda (Tabela 49 u Prilozima). Najviše ih ima, bez obzira na dužinu trajanja, u julu, avgustu i septembru. Sušni periodi traju često duže od 20 dana a u ekstremnom slučaju čak i 53 dana (1888. godine). Značajno je da se sušni periodi dužeg trajanja javljaju češće u hladnoj (IX - III) nego u toploj (IV - VIII) polovini godine.

Iz Tabele 49 u Prilozima se takodje vidi da je najmanje trajanje sušnog perioda maksimalne dužine 20 dana u maju a najveće, već pomenuta 53 dana u decembru. Uglavnom, od aprila do avgusta najduži su periodi kraći od 30 dana.

Srednje trajanje sušnih perioda prema višegodišnjim podacima pokazuje razlike u pojedinim mesecima u toku godine. Ono se kreće od 7,9 dana u junu do 11,6 dana u septembru.

11.3. Postupak izračunavanja indeksa PDSI

Pri praktičnom izračunavanju Palmerovog indeksa jačine suše (**PDSI**) potrebno je učiniti niz pretpostavki u jednačini balansa vode koja je osnovna za razumevanje izloženog metoda. Za procenu zaliha vlage u zemljištu, površinski sloj zemljišta (do 100 cm) se deli na dva sloja, pretpostavljajući da je maksimalan iznos zaliha vlage u sloju (0 - 30 cm) 70 mm. Ovde se podrazumeva da vlaga iz nižeg sloja zemljišta ne može biti uklonjena sve dok se ne ukloni sva vlaga iz višeg sloja. Takodje se pretpostavlja da je u oba zemljišna sloja sposobnost za primanje vlage nezavisna od sezone, tj. od godišnje promene vegetacionog pokrivača i razvoja korenovog sistema biljaka (Alley, 1984.), što je od velikog značaja u kultivisanim oblastima.

Pošto ne postoji univerzalno usvojen metod za izračunavanje potencijalne evapotranspiracije (PE) to se često koristi Thornthwaiteov metod (Palmer, 1965.) mada se uspešno može koristiti bilo koji od poznatih metoda. Evapotranspiracioni (ET) gubici vlage iz zemljišta dogadjaju se uvek kada je zadovoljen uslov PE > P, gde su sa P označene mesečne sume padavina. Potrošnja vode zbog evapotranspiracije iz gornjeg L_s i donjeg L_u sloja može se izraziti kao:

$$L_s = \min\left[S_s, (PE - P)\right],$$

$$L_u = \frac{\left[(PE - P) - L_s\right] S_u}{AWC}, \qquad L_u \le S_u$$

gde su sa S_s i S_u označeni iznosi zaliha vlage na početku meseca u gornjem i donjem sloju zemljišta, dok potencijalni vodni kapacitet zemljišta (AWC) za oba zemljišna sloja zavisi od lokalnih karakteristika zemljišta. U slučajevima kada je dostignut vodni kapacitet zemljišta, tj. kada su sve pore u zemljištu ispunjene vodom, dolazi do oticaja vode.

Potencijalni priliv vode u zemljištu (PR) je definisan kao onaj iznos vode koji je potreban da zemljište dostigne svoj poljski vodni kapacitet, tj.:

$$PR = AWC - (S_s + S_u)$$

Potencijalna potrošnja vode iz zemljišta (PL) definisana je kao onaj iznos vode u zemljištu koji može biti izgubljen u procesu isparavanja pretpostavljajući da nema padavina, tj.:

$$PL = PL_s + PL_u$$

gde je :

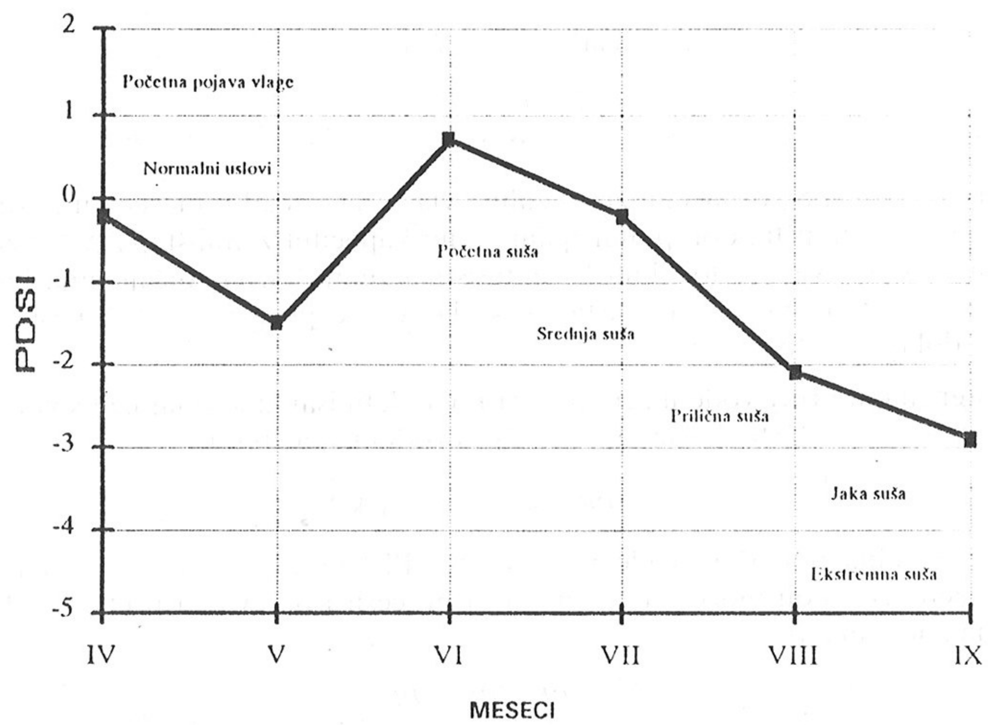
$$PL_s = \min(PE, S_s) \quad i \quad PL_u = \frac{(PE - PL_s) S_u}{AWC}, \quad (PL_u \le S_u)$$

Potencijalni oticaj (PRO) je definisan kao razlika potencijalnih padavina i potencijalnog priliva vode. Palmer (1959.) je odredio da su potencijalne padavine jedna ke potencijalnom vodnom kapacitetu zemljišta pa je:

$$PRO = AWC - PR = S_s + S_u$$

Svi ovi parametri direktno ulaze u **PDSI** model za izračunavanje indeksa suše, ($K_j, \hat{P}$), tj. $PDSI_j = 0{,}897\, PDSI_{j-1} + K_j\left(P - \hat{P}\right)$, gde je K_j težinski faktor (Palmer, 1959.), P je stvarna mesečna suma padavina i $\hat{P}$ je klimatski podešena mesečna suma padavina za postojeće uslove (Palmer, 1959.). Pošto se zadnjih deset godina (1984. - 1993.) suša na poljoprivrednom području oko Beograda javila četiri puta, to je na primeru izražene suše u toplom periodu 1992. godine izračunat Palmerov indeks (Sl. 34).

Palmerov indeks jačine suše (Sl. 34) pokazuje nam da je suša počela u aprilu, pojačala se u maju, da bi tokom juna prestala zbog pojačanih padavina (izmerene su padavine dva puta veće od junskog proseka). Juli mesec je bio u domenu normalnih uslova za beogradsko područje, dok je tokom avgusta došlo do pojave suše srednje jačine koja je tokom septembra kulminirala u suši prilične jačine zbog mesečnog deficita suma padavina od 40 mm i porasta srednje mesečne temperature za 5,5 °C u odnosu na višegodišnje proseke.



Slika 34. PDSI u 1992. godini za poljoprivredno područje oko Beograda

12. ZAGADJENOST ATMOSFERE

12.1. Koncentracija zagadjujućih materija u prizemnom sloju atmosfere

U okolini Beograda nalaze su termoelektrane Obrenovac i Kolubara sa najvećom emisijom SO_2 u Jugoslaviji. Nasuprot njima nalazi se Pančevo sa fabrikom azotnih djubriva i rafinerijom nafte, tako da je gradsko područje izloženo velikom uticaju ovih zagadjivača. Stoga se smatralo opravdanim da se u Meteorološkoj opservatoriji u Beogradu najpre počne (1976. godine) sa merenjem sadržaja onih zagadjujućih materija koje se najviše sreću u vazduhu (SO_2 i čestica dima), a imaju veoma štetan uticaj na životnu sredinu. Značajan uticaj na ukupnu emisiju SO_2 imaju termoelektrane (do 70%), dok su izvori emisije azotnih oksida (do 60%) mobilni izvori kao što su lokomotive, putnička i teretna vozila, avioni i dr. (Vuković i dr., 1991.).

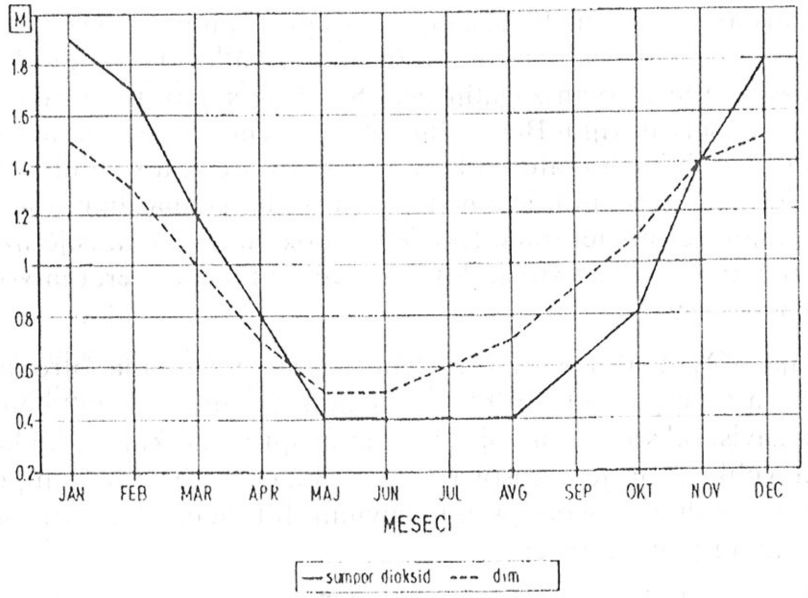
Oksidacija SO_2 u atmosferi (pri čemu se stvara veoma otrovna sumporna kiselina) dešava se u gasovitoj fazi, u vodenim kapima i na površinama. Brzina ovih reakcija zavisi od sredine u kojoj se odigravaju. Tako klimatske karakteristike Beograda sa velikim brojem časova sijanja Sunca i visokim temperaturama u toploj polovini godine pogoduju intenzivnim fotohemijskim transformacijama zagadjujućih materija u atmosferi.

Važno je istaći da je prenos aerosola sulfata i sumporne kiseline u atmosferu iznad Beograda moguć tokom cele godine i to od velikih termoelektrana iz Kolubarsko-posavskog basena, železare iz Smedereva, pa čak i iz fabrike sumporne kiseline iz Šapca i viskoze iz Loznice. To znači da je pri odredjenim vremenskim stanjima zdravlje ljudi u Beogradu ugroženo, ako znamo da je pri srednjoj koncentraciji aerosola sulfata od 10 - 12 $\mu g/m^3$ i temperaturama u intervalu od 1 - 10 °C primećen veći procenat obolevanja respiratornih organa kod ljudi.

U ispitivanom periodu (1978. - 1991. godina) na mestu Meteorološke opservatorije u Beogradu srednje godišnje koncentracije SO_2 kreću se od 72,6 do 143,3 $\mu g/m^3$ i dima u intervalu od 43,2 do 66,6 $\mu g/m^3$. Maksimalno dozvoljena dnevna koncentracija za SO_2 je 150 $\mu g/m^3$ i dim 50 $\mu g/m^3$, a mesečna i godišnja koncentracija SO_2 i dima je 50 $\mu g/m^3$, što znači da je vazduh u Beogradu veoma zagadjen.

Veoma velike dnevne koncentracije SO_2 i dima uočene su u zimskom periodu 1980./81. i 1987./88. godine. Tako je, na primer, maksimalna dnevna koncentracija SO_2 u ispitivanom periodu iznosila 822 $\mu g/m^3$ (1987.), a dima 700 $\mu g/m^3$ (1987.) što je 5,5 odnosno 16 puta više od dozvoljene dnevne granice. Uporedjujući podatke Beograda i Los-Andjelesa, srednje koncentracije SO_2 su istog nivoa, a poznato je da je ovaj američki grad jedan od najzagadjenijih.

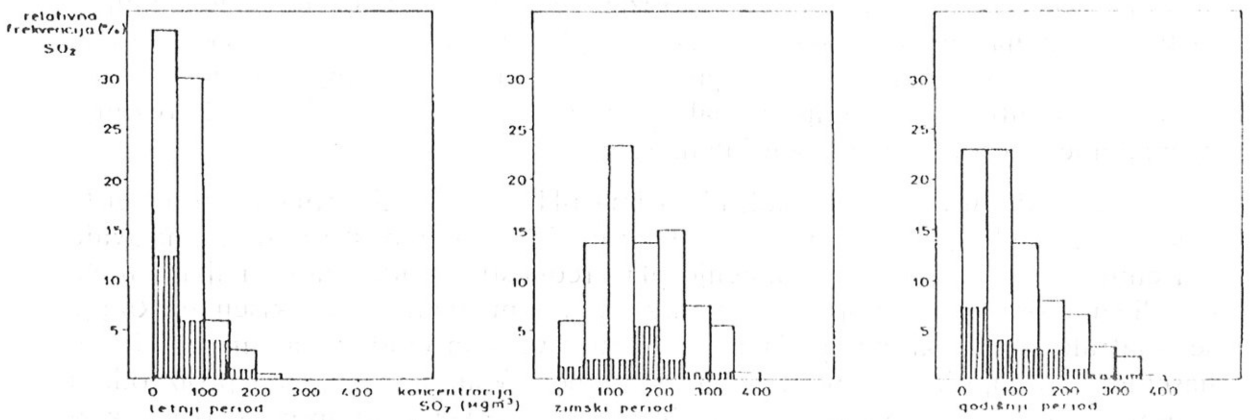
Na sl. 35 pokazan je godišnji hod koncentracije SO_2 i dima u Beogradu u periodu 1978. do 1991. godine.Godišnji hod je predstavljen promenom veličine M koja označava odnos srednje mesečne i srednje godišnje koncentracije SO_2 i dima. Maksimalne vrednosti ovih primesa u Beogradu javljaju se tokom zimskih meseci, naročito u decembru i januaru kada je rad termoelektrana najintenzivniji. Od februara do maja postoji nagli pad koncentracije SO_2 i dima u gradu. Tokom letnjih meseci, koncentracija SO_2 ima minimum i praktično se ne menja dok je od juna koncentracija dima u stalnom postepenom porastu.



Slika 35. Srednji godišnji hod koncentracije SO_2 i dima u Beogradu (1978. - 1991. godina)

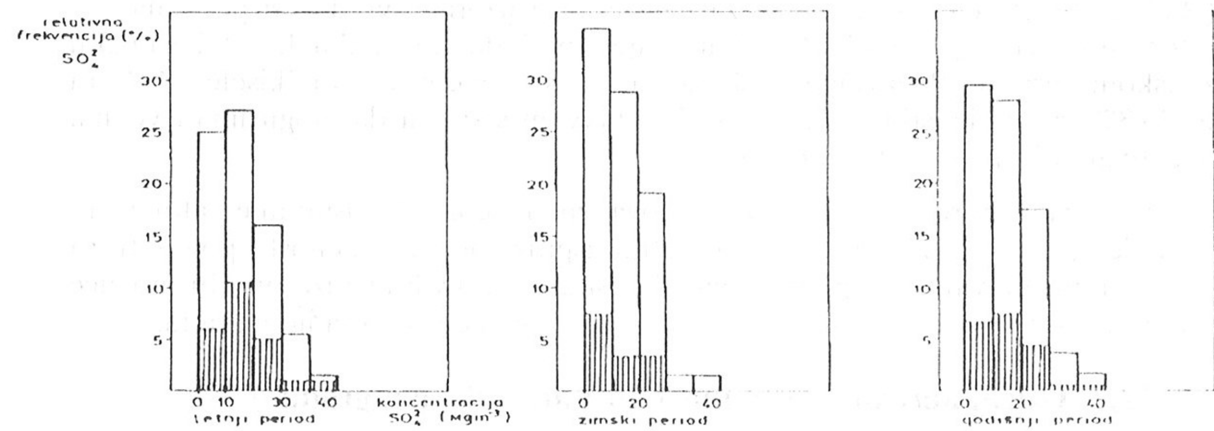
U periodu (1980. - 1981.) Rajšić (1983.) je detaljno ispitivala dnevne koncentracije SO_2, aerosola sulfata koji su rastvorljivi u vodi i hidronijum jona u padavinama u Meteorološkoj opservatoriji u Beogradu. Dobijeni rezultati su predstavljeni na sl. 36, 37 i 38. Na sl. 36 dati su histogrami relativne učestalosti SO_2. Može se uočiti da je u sezoni bez grajanja procentualno najveći broj uzoraka imao niske koncentracije i to od 0 - 50 $\mu g/m^3$ i od 51 do 100 $\mu g/m^3$, dok se u zimskom periodu koncentracija SO_2 povećala, pa je najveći broj dana sa zimskom periodu koncentracijama izmedju 101 i 150 $\mu g/m^3$ i od 210 do 250 $\mu g/m^3$. U danima sa koncentracijama izmedju 101 i 150 $\mu g/m^3$ i od 210 do 250 $\mu g/m^3$. U danima sa padavinama raspodela je slična, jedino je u grejnoj sezoni procentualno manji broj uzoraka sa koncentracijama od 151 do 200 $\mu g/m^3$, pa bi se moglo reći da efekat spiranja SO_2 u zimskim mesecima nije uočljiv.

Kod sulfata je postojao drugačiji odnos (sl. 37). Iz dobijenog histograma se vidi da je raspodela koncentracija slična u oba perioda, odnosno najveći broj uzoraka ima koncentracije izmedju 0 - 10 $\mu g/m^3$ u zimskoj i od 11 - 20 $\mu g/m^3$ u letnjoj sezoni. Koncentracije u danima sa padavinama pokazuju isti oblik raspodele.



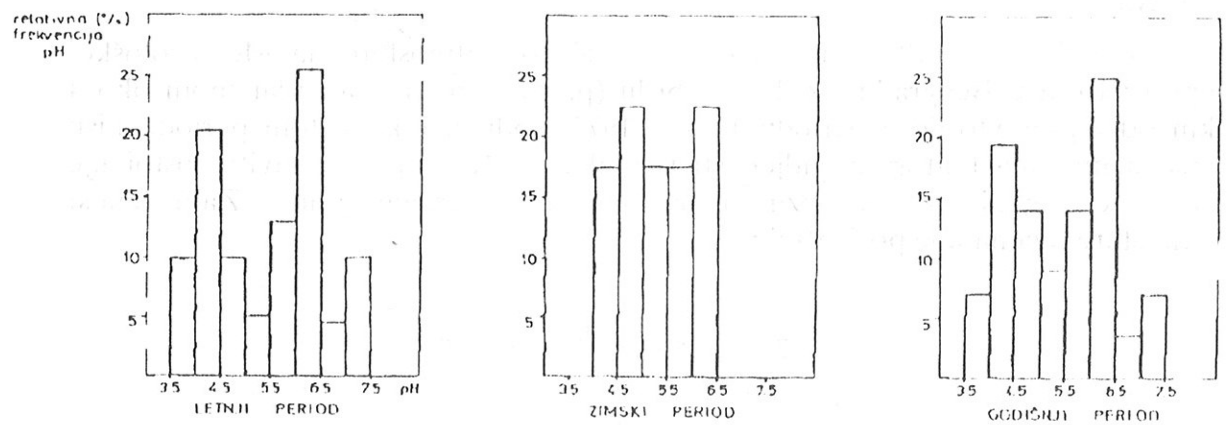
Slika 36. Histogram relativne frekvencije koncentracije SO_2 (Rajšić, 1983.)

(☐ dani bez padavina, ▥ dani sa padavinama)



Slika 37. Histogram relativne frekvencije koncentracije SO_4^2 (Rajšić, 1983.)

(☐ dani bez padavina, ▥ dani sa padavinama)



Slika 38. Histogram relativne frekvencije pH vrednosti (Rajšić, 1983.)

Pošto padavine najviše "očiste" prizemne vazdušne slojeve, to je hemijski sastav padavina veoma dobar pokazatelj opšte zagadjenosti vazduha u gradu. Oksidi u padavinama stvaraju jake kiseline koje zajedno sa zagadjenim padavinama utiču na hemijske reakcije u atmosferi a povećavaju koroziju i propadanje prirodnih i gradjevinskih materijala.

Voda u dodiru sa ugljendioksidom ima pH vrednost 5,6 (pH vrednost čiste destilovane vode) pa se sve padavine koje imaju pH vrednost ispod 5,6, nazivaju "kiselim" padavinama. Na smanjenje pH vrednosti u padavinama najviše utiču oksidi sumpora i azota koji sa padavinskom vodom stvaraju jake kiseline. Ranije se smatralo da se "kisele" padavine javljaju u velikim gradovima i industrijskim naseljima. Medjutim, sa povećanjem upotrebe fosilnih goriva za proizvodnju energije u industriji i saobraćaju, povećava se i količina sumpora i azota, koji vazdušnim strujanjem dospevaju u atmosferu a odatle se izluče u obliku padavina van gusto naseljenih mesta i industrijskih naselja.

Histogram, koji pokazuje raspodelu pH vrednosti u Beogradu dat je na sl. 38 (Rajšić, 1983.). Vidljivo je da se za najveći broj uzoraka vrednosti pH nalaze u intervalima izmedju 4 i 4,5 i 6 i 6,5 u letnjem periodu, a izmedju 4,5 i 5 i 6 i 6,5 u zimskom periodu. Padavine su tokom cele godine bile pretežno "kisele" (93%) i to 26,3% sa vrednostima pH < 4,5, tj. u takvom stepenu da mogu imati veoma negativan uticaj na životnu sredinu.

U slučaju sporog premeštanja frontova iznad Beograda "ispiranje" atmosfere je veće, pa bi možda bilo interesantno ispitivanje zagadjenosti povezati sa odredjenim tipovima stanja vremena. Na osnovu ovakvih analiza bilo bi moguće uraditi korisna upozorenja o mogućim nivoima zagadjenosti u samom gradu.

12.2. Uticaj aerosola na zamućenost atmosfere u gradu

Analiza zamućenosti atmosfere pokazuje da je zagadjenje vazduha u centru grada veće od zagadjenja u prigradskim naseljima. Naime, sposobnost atmosfere da propušta Sunčeve zrake zavisi od stanja atmosfere (hemijskog i fizičkog sastava).

Popović i dr. (1984.) je računao zamućenost atmosfere na Meteorološkoj opservatoriji u Beogradu i Zelenom brdu (prigradska stanica) udaljenom oko 4 km od Opseravtorije u periodu 1967. - 1972. godine. Iako u tom periodu nisu vršena merenja faktora zagadjenosti vazduha, može se pretpostaviti postojanje značajne zagadjenosti s obzirom na intenzivno širenje grada. Zamućenost atmosfere računata je po formuli:

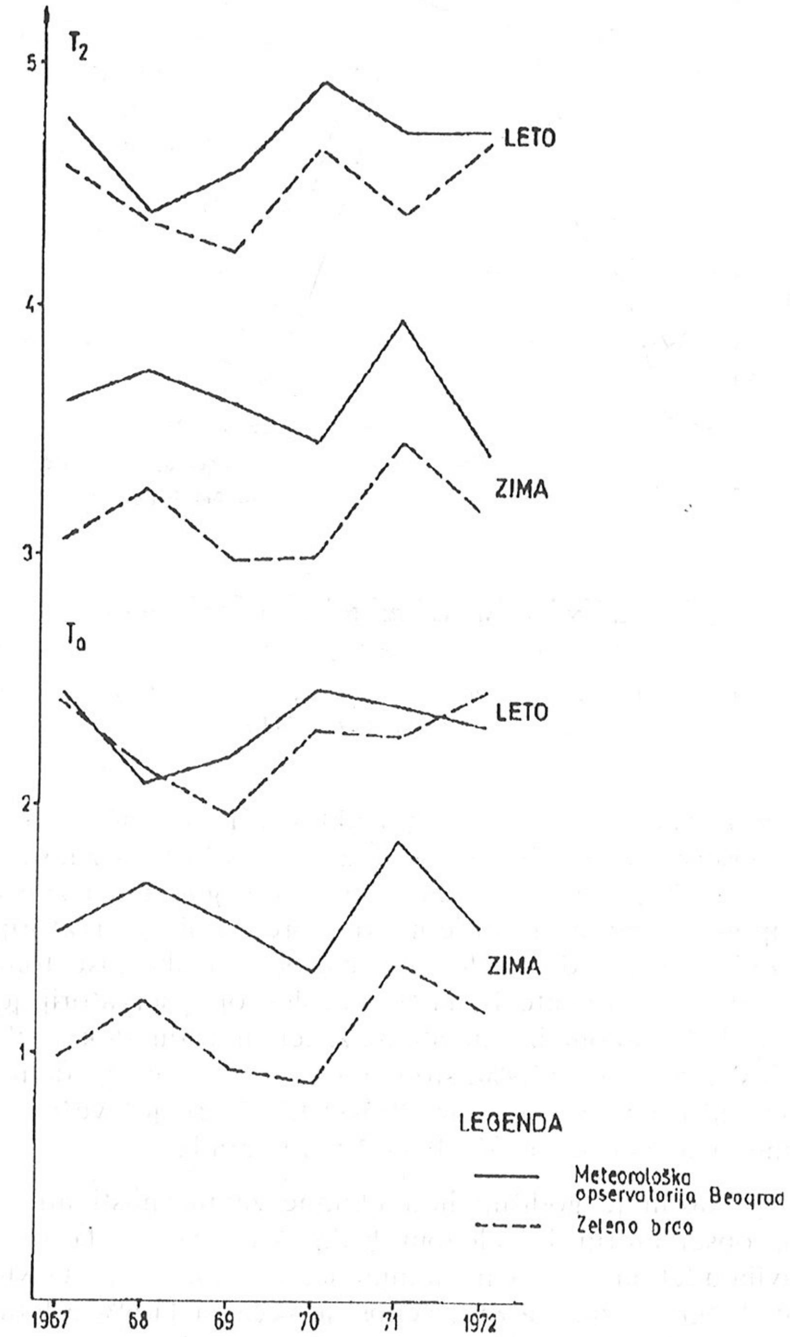
$$T_2 = 12{,}86 \log \frac{I_0}{I_{n,2}} = T_w + T_a$$

gde je:

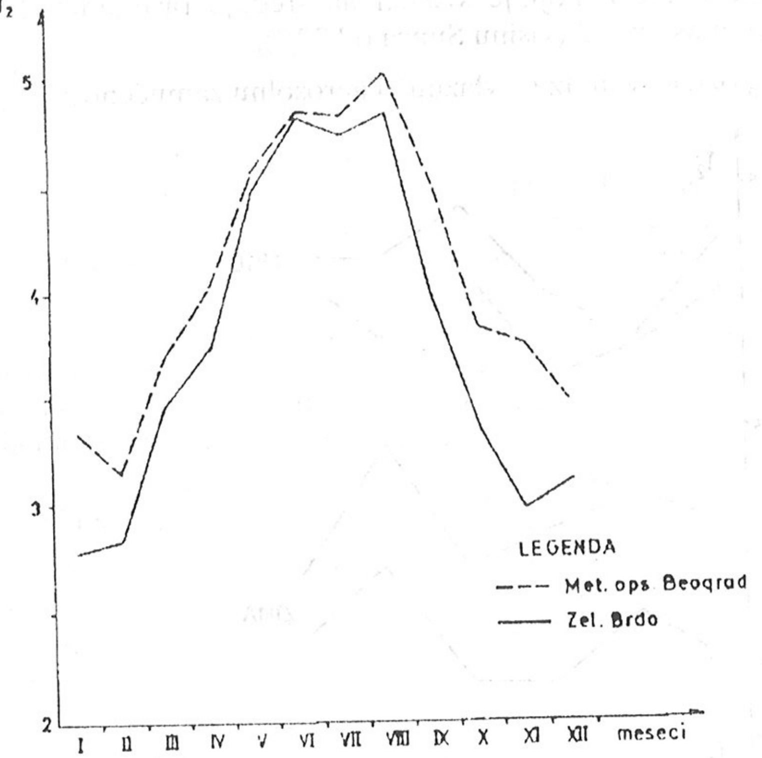
I_0 solarna konstanta (1270 Wm^{-2}),

$I_{n,2}$ je intenzitet direktnog Sunčevog zračenja na ravan normalnu na Sunčeve zrake a koji je sveden na srednje rastojanje Zemlja - Sunce i optičku masu m - 2 (visinu Sunca od 30 °),

T_w i T_a označavaju tzv. "vlažnu" i aerosolnu zamućenost.



Slika 39. Srednje sezonske vrednosti faktora zamućenosti T_2 i T_a u Beogradu za period 1967. - 1972. godine (Popović i dr., 1984.)



Slika 40. Godišnji hod faktora zamućenosti atmosfere T_2 u Beogradu u periodu 1967. - 1972. godina (Popović i dr., 1984.)

Na sl. 39 pokazana je aerosolna T_a i ukupna T_2 zamućenost atmosfere za Meteorološku opservatoriju u Beogradu i za Zeleno brdo u zimskom i letnjem periodu (1967. - 1972. godina). U svim pomenutim godinama zimskog perioda aerosolna komponenta zamućenosti je na Meteorološkoj opservatoriji dosta veća u odnosu na Zeleno brdo, dok u letnjem periodu razlike nisu toliko izražene. Vrednost aerosolne komponente T_a na Meteorološkoj opservatoriji je u zimskom periodu veća za 41,1% od one izračunate na Zelenom brdu, dok je ukupan faktor zamućenosti T_2 veći za samo 14,9%, što govori o značajnoj zagadjenosti u centru grada u odnosu na prigradska naselja. Verovatno bi se još veće razlike dobile ukoliko bi se merenja vršila dalje od 4 km od centra grada.

Na sl. 40 prikazan je godišnji hod ukupne zamućenosti atmosfere T_2 na Meteorološkoj opservatoriji i Zelenom brdu. Uočava se da se maksimalna zamućenost javlja u letnjim mesecima a minimalna tokom zime. U Meteorološkoj opservatoriji u Beogradu zimska zamućenost je veća za 11,6% a letnja za 10,4% od one na periferiji Beograda. U godišnjem iznosu, ukupna zamućenost je na Opservatoriji veća za 6,8% u odnosu na Zeleno brdo, dok je aerosolna komponenta povećana za 12,4% za ispitivani period 1967. - 1972. godina (Popović, 1984.).

13. ZAKLJUČCI

Poznavanje klime grada nalazi široku primenu u svim sferama života, a naročito u bioklimatologiji, tj. u proučavanjima interakcija izmedju klime i živog sveta. Na primer, u gradovima u kojima nivoi zagadjenosti postaju alarmantni, potrebno je izabrati nova područja za preseljenje industrije poznavajući odredjene meteorološke karakteristike. S tim u vezi, preovladjujući pravac vetra na odredjenom mestu može biti najbolji kriterijum.

Prognoza nivoa zagadjenosti iz višestrukih izvora može se uraditi sa zadovoljavajućom tačnošću koristeći neki od raspoloživih modela. Parametar koji obezbedjuje dobru primenu modela je inventar izvora odnosno tačan opis jačine i visine izvora kao i njegove dnevne i sezonske varijacije. Pored toga za tačniju procenu temperature u gradu potrebno je poznavati jačine izvora toplote i vodene pare na području koje pokriva grad.

Evidentno je, da je u gradu kakav je Beograd, temperatura vazduha odredjena ne samo prirodnim klimatološkim uslovima već i uticajem antropogenih aktivnosti, tako da:

1) srednja i srednja maksimalna godišnja temperatura vazduha pokazuju različito ponašanje u odnosu na srednju minimalnu godišnju temperaturu;

2) uticaj porasta grada i ljudske aktivnosti mogu se potvrditi koristeći Okeovu formulu (Oke, 1974.) koja povezuje srednju godišnju minimalnu temperaturu sa logaritmom populacije.

Naime, povećanje gradskog stanovništva od 428000 (1950.) do 2500000 (1991.) dovelo je do povećanog zagrevanja grada, oslobadjanja energije i vodene pare zajedno sa zagadjujućim materijama u atmosferu iz industrijskih postrojenja što je uticalo na porast jutarnjih temperatura u gradskom vazduhu.

Može se reći da postojanje gradskog ostrva toplote delimično objašnjava porast minimalnih temperatura u gradu kao dugoročnu varijaciju koja utiče na lokalnu mikroklimu.

I temperatura zemljišne površine ima veliki klimatski značaj naročito kao ulazni parametar u modelima koji se bave prizemnim graničnim slojem, zbog zamene travnatih betonskim površinama, što negativno utiče na isparavanje a time i na sadržaj vodene pare u atmosferi.

Statistička analiza pritiska vodene pare i relativna vlažnost u Beogradu je pokazala:

1) da nema pouzdanih znakova koji ukazuju na promenu pritiska vodene pare i

2) da relativna vlažnost opada počev od 1970. godine naročito u zimskim mesecima, što je svakako imalo uticaja na režim osunčavanja i oblačnosti u gradu.

Analiza podataka o trajanju relativnog osunčavanja i oblačnosti dovodi do sledećih zaključaka:

1) u proučavanom periodu postoji porast relativnog osunčavanja tokom leta za 9% i pad u toku zime za 14%;

2) u isto vreme, tokom leta i jeseni postoji izražen pad oblačnosti za više od 10% i slabiji porast tokom zime i proleća od 2% i 7% respektivno, koji je izraženiji posle 1978. godine.

Takodje je uočen godišnji pad relativnog osunčavanja za oko 0,7% posle 1984. godine. Ovde se sa sigurnošću ne može tvrditi da je ovaj kratkoročan pad uslovljen porastom cirusne oblačnosti nastale zbog letova aviona na velikim visinama, porastom zagadjenosti atmosfere ili je uzrok neki drugi fenomen.

Pretpostavljajući da dnevne visine padavina obrazuju Markovljev lanac, u Beogradu nije ustanovljena promena u visini padavina koja bi se dovela u vezu sa promenom cirkulacije, kako mikrorazmera tako i makrorazmera. Tako u Beogradu ima u proseku 139 dana sa padavinama, od kojih 27 dana sa snegom. Godišnji tok padavina pokazuje da se najveća mesečna visina padavina javlja u junu a najmanja u februaru.

Poredjenje osmatranja seoskih i gradskih padavinskih stanica približne nadmorske visine pokazuje da gradske stanice dobijaju tokom proleća i leta do 70 mm više padavina nego u obližnjim seoskim oblastima. Povećanje je uočeno i tokom hladnijeg dela godine i u periodu jesen - zima iznosi 46 mm. To znači da su srednje godišnje sume padavina u samom gradu veće za oko 17% od onih izmerenih u seoskim sredinama, što se može dovesti u vezu sa povećanom konvenkcijom u gradskoj atmosferi i sa obilnim snabdevanjem jezgrima kondenzacije.

Ispitujući polje vetra u Beogradu, uočava se da je najkarakterističniji jugoistočni vetar, poznat kao košava, koji ima najveću čestinu u hladnijoj polovini godine. U junu i julu u Beogradu najveću čestinu imaju vetrovi iz zapadnog pravca. Pri pojavi košave, najveće promene se dogode u polju atmosferskog pritiska zbog uticaja orografije pri datoj mikrocirkulaciji u nižoj troposferi. U zavisnosti od tipa košave i njenog intenziteta postoji razlika u vertikalnom i horizontalnom smicanju vetra, dok u poljima temperature i vlažnosti nisu uočene veće prostorne razlike.

Statistička analiza časovnih vrednosti vetra u Beogradu u i Surčinu (aerodrom) ukazuje da promena pravca vetra u gradu u odnosu na okolinu zavisi od doba dana i brzine okolnog vetra. Po razlikama u vrednosti parametra, koji odredjuje stepen skretanja vetra, kada su istovremeni pravci na Meteorološkoj opservatoriji i Surčinu u intervalu ± 30°, postoji karakteristična šema skretanja pravca vetra u gradu u odnosu na okolinu.

Košava u Beogradu ima blagotvorno dejstvo, jer pročišćava gradski vazduh, s obzirom da u grejnoj sezoni dnevne koncentracije SO_2 i dima mogu nekoliko puta da premaše dozvoljene granice. Medjutim, tokom leta, koncentracije aerosola sulfata u Beogradu dostižu opasne granice, dok na "kiselost" padavina najvećim delom utiče azotna kiselina, što ide u prilog pretpostavci da su u tom periodu intenzivne fotohemijske transformacije u kojima učestvuju oksidi azota emitovani iz saobraćaja.

Ovde treba istaći da osim SO_2 i dima u atmosferi iznad Beograda ima još zagadjujućih materija (azotni oksidi, ugljovodonici, ugljenmonoksidi, olovo i dr.) kao i produkti fotohemijskih procesa koji utiču na povećanje koncentracije ozona u prizemnom sloju atmosfere. To znači da je slika ugroženosti koju u Beogradu stvara previše zagadjen vazduh još kompleksnija i kritičnija. Ovako zagadjen vazduh utiče i na povećanje zamućenosti atmosfere u centru grada, odnosno smanjenog prodiranja kratkotalasnog Sunčevog zračenja u atmosferu iznad Beograda.

LITERATURA

Alley, W., 1984: The Palmer Drought Severity Index: Limitations an assumptions J. Clim. Appl. Meteor. 23, 1100 - 1109.

Angell, J., D. Pack, C. Dickson i W. Hoecker, 1971: Urban influence on nihttime airflow estimated from tetroon flights. J. Appl. Meteor., 10, 535 - 548.

Angell, J. and Korshover, 1975: Variation in Sunshine duration over the contiguous United States between 1950. and 1972. J. Appl. Meteor., 14, 1174 - 1181.

Angell, J., J. Korshover and G. Cotton, 1984: Variation in United States cludiness and sunshine 1950 - 82., J. Appl. Meteor., 223, 752 - 761.

Bhumralkar, C. M., 1975: Numerical Experiments of the Computation Ground and Surface Temperature in an Atmospheric General Circulation Model. J. Appl. Meteor., 14,1246 - 1258.

Blackadar, A. K., 1976: Modeling the Nocturnal Boundary Layer, Am. Met. Soc. 3 rd Symp. Atm. Turbulence, Diffusion and Air Quality, Oct. 19 - 22, Raleigh N.C., 46 - 49.

Bornstein, R. and D. Johnson, 1977: Urban-rural Vind Velocity differences. Atmospheric environment, 158 - 169.

Brazel, A. J., 1985: Urban climatology. The Encyclopedia of Climatologu. John E. Oliver, 357 pp.

Brazel, W. S. and Balling, R.J., 1986: Temporal Analysis of Long Term Atmospheric Moisture Levels in Phoenix, Arizona. J. Clim. Appl. Meteor., 25, 112 - 117.

Chandler, T. J., 1961: Surface breeze effects of Leicesters heat - island. East Midland Geographer, Nottingam, 15, 32 -38.

Chandler, T. J., 1965: The Climate of London. London. Hutchinson Press, 292 pp.

Chandler, T. J., 1967: Absolute and relative humidities in towns. Bull. Amer. Meteor. Soc., 48, 394 - 399.

Changnon, S. A., 1969: Recent studies of urban effects on precipitation in the United States. Bull. Amer. Meteor. Soc., 50, 411 - 421.

Changnon, A. A., 1981: Midwestern cloud, sunshine and temperature trends since 1901: Possible evidence of jet contrali effects. J. Appl. Meteor., 20, 496 - 508.

Chen, R. S.and P. J. Robinson, 1991: Generating Scenarios of Lokal Surface Temperature Using Time Series Methods. J. of Climate, 4, 723 - 732.

Colacino, M. and A. Lavagnini, 1982: Evidence of the urban heat island in Rome by climatological analysis, Arch. Meteor. Geophys, Bioklimatol., Ser. B, 31, 87 - 89.

Colacino, M. and Rovelli, 1983: The yearly averaged air temperature in Rome from 1782 to 1975. Tellus, 33A, 389 - 397.

Čadež, M., 1964: Vreme u Jugoslaviji. Rasprave 4, Meteorl Inst. Univ. u Beogradu, 83 str.

Čupić, T., M. Milutinović, D. Vukmirović, 1985:Atmospheric waves in the lower troposphere in Koshava on the basis of radiosonding. Zbornik meteoroloških i hidroloških radova, No. 11, 64 - 66.

Deardorff, A. K., 1977: A Parameterization of Ground - Surface Moisture Content for Use in Atmospheric Prediction Models. J. Appl. Meteor., 16, 1182 - 1185.

Deardorff, A. K., 1978: Effeciaent Prediction of ground Surface Temperature and Maisture With Juchusion of Layer of Vegetation. J. Geoph. Res., 83. 1889 - 1903.

Dettwiller, J., 1978: L'evolution sèculare de la tempèrature à Pariz. La Mèteorologie, 23, 95 - 130.

Dirks, R. A., 1974: Urban atmosphere: warm dry anvelope over St. Louis. J. Geophys. Res., 79, 3473 - 3475.

Djordjević, S., 1987: Razlike u strujanju vazduha izmedju urbanizovanog dela Beograda i okoline. Zbornik meteoroloških i Hidroloških radova, 14, 44 - 49.

Farago, T., S. Dunay anf C.S. Nemec, 1990: Meteorological and agroeconomic aspects of recent drought episodes in Hungary. Jdójarăs, 94, 10 - 22.

Garstang, M., P. Tyson and G. Emmitt, 1975: The structure of heat island. Rev. Geophys. Space Phys., 31, 139 - 165.

Granger, O., 1979: Increasing variability in California precipitation Ann. Assoc. Amer. Georg., 69, 533 - 543.

Hecht, A. D., 1983: Draught in the Great Plains: History of societal response. J. Clim. Appl. Meteor., 22, 51 - 56.

Huff, F. A., and S. A. Changnon, 1972: Climatological assessment of urban effects on precipitation at St. Louis. J. Appl. Meteor., 11, 823 - 842.

Janc, N., 1992: Raspodela padavina na području Beograda. Zbornik radova Republičkog hidrometeorološkog zavoda R. Srbije, 43 -57.

Jones, P. D., 1982: Variations in suface air temperatures: Northern hemisphere 1881 - 1980. Mon. Wea Rev. 110, 59 - 70.

Jones, P. D., 1986: Northern hemisphere surface air temperature variations 1851 - 1984. J. Sli. Appl. Meteor., 25, 161 - 179.

Karl, T. R., 1983: Some spatial characteristics of drought duration in the United States. J. Clim. Appl. Meteor., 1356 - 1366.

Katsoulis, B. and G. Theoharatos, 1987.: Indications of the urban heat island in Athens, Grece, J. Clim. Appl. Meteor., 24, 1296 - 1302.

Katz, R. W., 1977.: Precipitation as a chain-dependent process. J. Appl. meteor., 16, 671 - 676.

Keeping, E.S., 1962: Introduction to Statistical Inference. Van Nostrand, New York, 273 str.

Klein, W.H.,1983 : Objective specification of monthly mean surface temperature from mean 700 mb heights in winter. Mon. Wea. Rev., 111, 674 - 691.

Kopec, R. J., 1973 : Daily spatial and ecular variations of atmospheric humidity in a small city. J. Appl. Meteor., 12, 639-648.

Kratzer, A., 1956: Das Stadt klima. Braunschweig, Friedr. Vieweg & Sohn, 184 str.

Landsberg, H. E., 1970: Climates and urban planning. Urban climates, Tech. Paper 141, WMO, Geneva, 364 - 374.

Landsberg, H. E., 1972: Micrometeorological observations in an area of urban growth. Boundary Layer Meteor., 2, 365 - 370.

Landsberg, H. E., 1981: The urban climate. Academic Press, Now York, 288 str.

Lee. D., 1977: Urban influence on wind directions over London.Weather, 125 - 132.

Leith, C. E., 1973: The standard error of time-estimates of climatic means. J. Appl. Meteor. 12, 1066 - 1069.

Ludwig, F. L. and J. H. Kealhoa, 1969: Urban climatological studies, Final Rep., Contract Cod. DAHC. 20 - 67 - CO, 136 pp.

Ludwig, F. L., 1970: Urban air temperatures and their relation to extraurban meteorological measure- ments. Amer. Soc. Heat. Refrig. Air. Cond. 70, 1 - 45.

Manabe, S., 1983: Carbon dioxide and climatic change, Advances in Geophysics, 25, 39 - 82.

Matičić, B., 1970: Vodoretencijske lastnosti nekaterih tal Sloveniji, Zbor. Biotehn. fak. XVII, Ljubljana, 67 - 76.

Milosavljević, M., 1950: Fizičke osobine vetrova u Beogradu, Naučna knjiga, Beograd, 67 str.

Milosavljević, M., 1972: Klimatologija, Naučna knjiga, Beograd, 261 str.

Milosavljević, M., 1976: Der Wind "Koschava" in östlichen Teil Jugoslawiens. Wetterdienst 4, 258 - 269,

Milosavljević, K., 1987: Temperatura vazduha i padavine u Beogradu, RHMZ. Srbije, Beograd, 188 str.

Mitchell, J. M. and J., Chairman, 1971: Climatic Change, WMO Tech. Note, No.79, Geneva.

Oke, T. R., 1974: Review of urban climatology, WMO, Tech. Note No. 134, 1 - 132.

Oke, T. R., 1979: Review of urban climatology, WMO Tech. Note No.169, 114 - 119.

Oladipo, E. O., 1985: A comparative performance analysis of three meteorological drought indices. J. Clim., 655 - 664.

Ormsby, J. F., 1961: Design of numerical filters with application to missile data processing. Assoc. Comp. March. J., 8, 440 - 446.

Palmer, W. C., 1965: Meteorological drought. U. S. Weather Bureau, Res. Paper, No 45.

Popović, M., Ž. Stanojević, M. Mendjan, 1984: Uticaj grada Beograda na atmosfersku zamućenost. Hidrometeorologija, 6, 18.- 29.

Rajšić, S., 1983: Transformacije sumpornih jedinjenja u prizemnom sloju urbane atmosfere, Magistarski rad, Beograd, 69. str.

Rakovec, J., 1978: Jednodimenzionalni model za odredjivanje prizemne temperature. Savezni hidrometeorološki zavod, Beograd, 25 str.

Rao, A. S. and A. R. Subramaniam, 1986: An analysis of droughts in Maharashtra by a modified Palmer's approach, Mausam 3, 341 - 342.

Rezultati osmatranja Meteorološke opservatorije u Beogradu u periodu 1887 - 1986. RHMZ Srbije, 1986., Beograd, 131 str.

Riebsame , W. E. 1986: The social burden of weather and climate hazards. Bull. Amer. Met. Soc. 67, 1378 - 1388.

Sanderson, M., Kumanan, T. Tangnay and W. Schertzer, 1973: Three Aspects of the Urban Climate of Detroit, Windsor. J. Appl. Meteor., 12, 629 - 638.

Saunders, R. W., 1984: Monthly mean cloudiness observed from METEOSAT-2. J. Appl. Meteor., 24, 114 - 127.

Siegel, S., 1956:Non-parametric statistic., Mc. Craw Hill, London, 312 pp.

Shreffler, J., 1979: Urban - rural differences in tower measured winds, St. Lowis, J. Appl. Meteor., 4, 258 - 269.

Thomas, M. K., 1971: A survey of the urban effect on the climates of Canadian cities SDSN. 11 - 71, Environment Canada, Toronto.

Unkašević, M., 1989: Some improvements in calculating the plant stand surface albedo and its influence on ground surface temperature. Int. J. Biometeor., 33, 184 - 195.

Unkašević, M., 1992: Changes in precipitation data at Belgrade. Idòjaràs No. 3, 159 - 166.

Vasić, M., 1983: Primena metoda za promenu temperature i vlažnostl površine zemljišta u parametarizaciji planetarnog graničnog sloja. Magistarski rad, Beograd, 57 str.

Vukadinović, S., 1981: Elementi teorije verovatnoće i matematičke statistike. Privredni pregled, Beograd, 467 str.

Vinnikov, K. Ya., 1980: Current climatic changes in the Northern Hemisphere. Meteorologija and Gidrologija, 6, 5 - 17.

Vukmirović, D., 1974: La structure de la troposphère basse pendant le vent "cochava" en hiver 1971/72. Zbornik meteoroloških i hidroloških radova, No.5, 121 - 127.

Vukmirović, D., 1975: Neke dinamičke karakteristike košave iznad Beograda. Medjunarodna konferencija iz Karpatske meteorologije, 17 - 22, X. 1973. Kijev.

Vukmirović, D., 1985: The Koshava wind events during the Alpex special observing period. Zbornik meteoroloških i hidroloških radova, No. 11, 75 - 77.

Vuković, T., D. Djordjević, M. Ristić, 1991: Ocena kvaliteta vazduha i padavina u Jugoslaviji za period (1987-1989), Zaštita atmosfere, 19 (2-3), 80 - 85 str.

Wilhite, D. A., 1983: Goverment response to drought in the United States with particular reference to the Great Plains. J. Clim. Appl. Meteor., 20, 40 - 50.

Wilks, D. S., 1989: Statistical specification of local surface weather elements from large - scale information. Theor. Appl. Clim., 40, 119 - 134.

Wilson, C. and J. Mitchell, 1987: Simulated climate and CO_2 induced climate change over western Europe. Clim. Change, 10, 11 - 42.

WMO, 1975: Drought and agriculture. Techn. Note No.138.

Yamamato, R. and M. Hoshiai, 1980: Fluctuations of Northern Hemisphere mean surface air temperature during recent 100 yr.J. Met. Soc. Japan, 58, 187 - 193.

PRILOZI

Tabela 37. Apsolutni dnevni minimum temperature vazduha (°C) Beograd 1888. - 1991. godina

	I		II		III		IV		V		VI	
DAN	t(°C)	God.	t(°C)	God.	t(°C)	God.	t(°C)	God.	t(°C)	God.	t(°C)	God.
1	-18,4	1888	-17,0	1929	-13,6	1932	-6,1	1931	1,9	1902	7,2	1904
2	-21,1	1888	-19,0	1929	-15,0	1891	-2,5	1923	2,8	1909	5,8	1918
3	-21,6	1888	-20,5	1929	-13,5	1888	-2,5	1944	-1,4	1935	4,8	1928
4	-21,6	1888	-17,6	1956	-16,3	1890	-1,0	1893	0,6	1935	5,9	1928
5	-20,4	1888	-20,0	1956	-10,0	1888	-1,1	1929	2,9	1938	6,1	1962
6	-22,8	1888	-21,0	1893	-11,1	1888	-2,8	1906	1,1	1893	5,9	1918
7	-20,9	1888	-19,0	1893	-13,2	1892	-1,7	1929	1,1	1893	4,6	1962
8	-24,5	1947	-21,5	1929	-11,2	1892	-1,5	1905	2,1	1891	8,2	1962
9	-20,0	1893	-17,4	1917	-10,4	1892	-1,9	1893	0,2	1909	4,9	1962
10	-26,2	1893	-23,2	1929	-8,4	1892	-3,1	1892	2,6	1953	6,8	1890
11	-16,1	1940	-25,5	1929	-5,0	1898	-0,5	1949	0,4	1953	8,3	1932
12	-15,4	1969	-20,1	1929	-6,7	1976	-0,3	1939	2,8	1900	6,8	1899
13	-20,0	1893	-22,6	1922	-9,1	1971	-2,4	1912	1,6	1978	7,5	1899
14	-22,3	1893	-20,2	1922	-9,6	1932 i 1902	-3,7	1912	8,8	1888	6,1	1891
15	-20,8	1893	-18,1	1932	-9,0	1932	-5,6	1893	4,7	1927	5,8	1913
16	-22,6	1893	-17,2	1940	-6,2	1952	-2,4	1893	6,1	1897	6,7	1913
17	-17,0	1891	-20,5	1956	-6,0	1962	0,3	1931	5,2	1933	4,0	1913
18	-15,4	1893	-16,6	1901	-5,5	1931	0,7	1929 i 1968	4,3	1973	7,5	1928
19	-16,0	1942	-14,5	1895	-7,8	1962	-1,8	1903	3,7	1952	8,6	1928
20	-19,0	1893	-15,1	1925	-7,6	1962	-1,1	1903	4,5	1925	9,2	1904
21	-25,1	1893	-14,6	1891	-5,3	1892	-0,1	1892	4,0	1925	7,6	1921
22	-21,2	1942	-17,0	1929	-7,0	1942	0,1	1939	3,5	1952	7,6	1921
23	-21,2	1942	-15,6	1929	-4,0	1958	0,6	1932	4,2	1955	8,2	1921
24	-23,8	1942	-10,5	1909	-3,2	1932	-0,8	1893	2,9	1955	8,1	1918
25	-17,1	1963	-13,5	1889	-6,4	1958	1,0	1896	5,7	1911	7,2	1918
26	-11,9	1943	-10,7	1932	-4,5	1932	1,0	1896	3,9	1911	10,0	1929
27	-14,0	1954	-10,5	1986	-8,2	1899	1,5	1960	6,6	1967	9,5	1978
28	-19,0	1942	-11,0	1963 i 1986	-7,7	1918	0,2	1984	6,0	1977	9,8	1894
29	-19,0	1933	-11,9	1932	-9,3	1918	0,6	1902	6,7	1934 i 1977	9,8	1913
30	-18,0	1909			-9,1	1918	1,2	1985	7,9	1898	9,1	1971
31	-16,8	1942			-6,3	1981			5,2	1955		

има грешака у табели!

Nastavak Tabele 37.

	VII		VIII		IX		X		XI		XII	
DAN	t(°C)	God.	t(°C)	God.	(°C)	God.	(°C)	God.	(°C)	God.	(°C)	God.
1	9,3	1964	10,2	1961	9,5	1921 i 1978	0,5	1959	-7,5	1920	-10,3	1931
2	8,7	1892	10,7	1916	6,2	1893	2,2	1959	-6,1	1891	-12,4	1931
3	9,8	1888	10,1	1965	6,6	1898	2,8	1930	-4,2	1971	-13,0	1896
4	9,8	1899	9,6	1908	8,7	1908	2,5	1930	-5,0	1907	-14,8	1957
5	9,5	1984	8,8	1888	7,2	1900	2,2	1916	-3,9	1912	-11,8	1925 i 1957
6	9,5	1984	10,4	1976	7,8	1893	1,4	1971	-6,9	1907	-14,5	1925
7	9,3	1933	9,8	1887	5,8	1908	0,0	1897	-5,9	1907	-12,6	1925
8	9,4	1984	9,7	1941	4,6	1953	0,0	1897	-9,5	1888	-14,9	1925
9	10,6	1966	8,8	1916	6,9	1897	0,7	1890	-12,1	1888	-16,7	1925
10	10,6	1909	8,7	1916	6,1	1960	0,5	1899	-15,2	1888	-13,2	1902
11	10,9	1929	10,2	1898	6,7	1941	0,5	1899	-14,1	1888	-13,0	1899
12	9,9	1903	10,6	1912	3,8	1899	0,6	1956	-9,6	1897	-13,2	1899
13	9,0	1902	9,0	1965	6,8	1936	-0,2	1936	-10,0	1888	-13,5	1890
14	8,0	1907	9,0	1902	4,3	1890	0,4	1912	-9,6	1888	-15,6	1890
15	10,3	1888	10,0	1894	3,7	1890	0,0	1959	-8,3	1904 i 1908	-14,3	1902
16	8,8	1899	9,0	1930	5,4	1894	0,2	1925 i 1959	-10,1	1904	-15,3	1902
17	11,0	1912	10,3	1895	4,4	1979	-1,0	1894	-9,3	1908	-14,7	1940
18	11,0	1970	9,8	1911	4,2	1898	-0,3	1940	8,0	1908	-14,8	1925
19	10,1	1893	8,8	1895	3,4	1971	0,0	1926	-8,0	1902	-14,1	1927
20	9,6	1913	7,8	1949	2,9	1922	-1,1	1899	-6,5	1982	-16,7	1927
21	10,2	1949	8,4	1949	4,4	1978	-2,7	1893	-5,2	1967	-17,6	1927
22	9,6	1913	7,7	1949	4,7	1902	-1,3	1888	-5,6	1920	-18,6	1924
23	10,1	1898	8,0	1907	3,9	1902	-3,5	1890	-7,9	1902	-19,3	1933
24	11,8	1978	8,0	1912	4,1	1916	-3,0	1890	-9,5	1902	-13,5	1927
25	11,0	1960	7,0	1922	2,5	1902	-6,9	1946	-8,4	1902	-14,5	1887
26	9,7	1939	7,5	1917	0,6	1906	-5,6	1946	-9,8	1892	-15,1	1887
27	10,7	1890	8,9	1899	1,3	1906	-1,8	1920	-11,8	1892	-14,5	1953
28	9,6	1902	8,3	1935	1,5	1906	-2,0	1920	-12,8	1892	-14,8	1939
29	11,3	1889	6,4	1906	0,6	1970	-5,9	1978	-13,2	1892	-16,7	1887
30	9,7	1922	7,2	1906	0,9	1970	-13,0	1920	-13,1	1892	-15,1	1911
31	10,7	1961	8,6	1903			-11,2	1920			-16,2	1987

има грешака у табели!

Tabela 38. Čestine dnevnog minimuma temperature vazduha Beograd 1888. - 1992. godina

Tabela 38. Čestine dnevnog minimuma temperature vazduha Beograd 1888. - 1992. godina

Klasa	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
	MESECI												
27,1 do 28								0,014					0,014
26,1 do 27								0,041	0,014				0,055
25,1 do 26							0,028	0,068					0,096
24,1 do 25							0,111	0,110	0,027				0,248
23,1 do 24						0,014	0,250	0,205					0,469
22,1 do 23					0,014	0,041	0,472	0,274	0,027				0,828
21,1 do 22					0,027	0,26	0,903	0,589	0,096				1,875
20,1 do 21				0,014	0,068	0,575	1,194	1,000	0,288				3,139
19,1 do 20				0,014	0,178	0,712	1,986	1,712					5,096
18,1 do 19				0,014	0,233	1,370	3,278	2,397	0,466	0,023			8,270
17,1 do 18			0,014	0,041	0,466	2,493	3,680	3,493	0,781	0,097			11,587
16,1 do 17			0,027	0,110	1,152	3,068	4,166	3,698	1,192	0,203			14,677
15,1 do 16			0,014	0,233	1,699	3,877	4,084	3,672	2,151	0,305			16,547
14,1 do 15			0,055	0,397	2,904	3,877	3,750	4,028	2,370	0,542	0,056		19,069
13,1 do 14			0,123	0,849	3,301	4,302	3,097	3,493	2,808	1,167	0,083		20,214
12,1 do 13			0,151	0,877	3,452	3,068	1,917	2,329	3,383	1,555	0,111		16,866
11,1 do 12	0,014		0,260	1,644	3,495	2,486	1,167	1,918	2,808	1,903	0,361		16,488
10,1 do 11	0,014	0,027	0,562	2,137	3,575	1,726	0,681	1,110	3,011	1,708	0,667	0,069	15,738
9,1 do 10	0,068	0,082	0,589	2,315	2,575	1,082	0,153	0,466	2,657	2,194	0,972	0,083	14,034
8,1 do 9	0,151	0,205	1,178	2,835	2,260	0,548	0,069	0,288	2,274	2,916	1,278	0,236	14,117
7,1 do 8	0,151	0,288	1,329	3,205	1,835	0,247	0,014	0,068	1,986	2,708	1,500	0,389	14,007
6,1 do 7	0,329	0,589	1,712	3,014	1,589	0,151		0,027	1,397	3,028	1,875	0,569	13,760
5,1 do 6	0,534	0,712	1,822	3,014	0,985	0,068			0,904	2,653	2,111	0,681	13,612
4,1 do 5	0,534	0,836	2,138	2,054	0,562	0,041			0,644	2,444	2,319	1,069	12,147
3,1 do 4	1,027	945	2,589	2,041	0,288	0,014			0,370	2,041	2,306	2,292	12,499
2,1 do 3	1,315	1,767	2,727	1,493	0,205				0,137	1,792	1,986	1,680	13,117
1,1 do 2	1,781	1,89	2,877	1,342	0,063				0,110	1,403	2,042	2,055	13,930
0 do 1	2,795	2,549	3,424	1,288	0,055				0,055	0,861	2,43	2,626	17,.707
-0,1 do -1	2,835	2,795	2,479	0,644					0,014	0,847	2,805	3,93	13,808
-1,1 do -2	2,192	2,398	2,164	0,260	0,014					0,333	1,778	2,914	11,112
-2,1 do -3	2,233	2,275	1,219	0,110						0,153	1,569	2,362	9,018
-3,1 do -4	1,836	1,576	1,096	0,027						0,042	1,055	2,084	7,133
-4,1 do -5	2,041	1,740	0,685							0,014	0,792	1,792	6,563
-5,1 do -6	1,658	1,165	0,507	0,140						0,014.	0,819	1,264	4,733
-6,1 do -7	1,849	1,260	0,312	0,014						0,028	0,292	1,069	7,645
-7,1 do -8	1,123	0,973	0,274							0,014	0,236	0,930	3,453
-8,1 do -9	0,986	0,740	0,288								0,139	0,944	2,876
-9,1 do -10	1,027	0,630	0,068								0,111	0,750	2,864
-10,1 do -11	1,014	0,644	0,123								0,139	0,500	2,260
-11,1 do -12	0,685	0,452	0,027								0,056	0,389	1,637
-12,1 do -13	0,685	0,397	0,041							0,014	0,028	0,431	1,457
-13,1 do -14	0,520	0,274	0,055							0,014	0,028	0,292	1,058
-14,1 do -15	0,397	0,260	0,027								0,028	0,181	0,865
-15,1 do -16	0,274	0,164									0,014	0,167	0,563
-16,1 do -17	0,356	0,192									0,014	0,111	0,631
-17,1 do -18	0,110	0,164										0,069	0,288
-18,1 do -19	0,137	0,096										0,014	0,247
-19,1 do -20	0,082	0,027										0,014	0,123
-20,1 do -21	0,082	0,082										0,014	0,164
-21,1 do -22	0,068	0,014											0,082
-22,1 do -23	0,041	0,014											0,055
-23,1 do -24	0,014	0,014											0,028
-24,1 do -25	0,014												0,014
-25,1 do -26	0,014	0,014											0,028
-26,1 do -27	0,014												0,014

Tabela 39. Broj dana i srednji ekstremni datum prvog i poslednjeg dana sa odredjenim vrednostima temperature vazduha, Beograd 1888. - 1991. godina

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
	MESECI												
Dan sa $T_n \leq -10.0°C$													
Sredina	4,2	2,4	0,2							0,0	0,2	1,4	8,4
Najveći broj dana	25	21	6							2	4	11	36
Najmanji broj dana													
Dan sa mrazom Tmin <0°C (мразни дани)													
Sredina	22,1	17,6	8,8	0,8	0,0				0.0	0,6	6,6	16,1	72
Najveći broj dana	31	28/29	26	10	1				1	6	24	31	110
Najmanji broj dana	4	2										1	34
Dan sa Tmax <0°C (ледени дани)													
Sredina	9,2	4,9	0.8							0,0	0,7	5,8	21,4
Najveći broj dana	28	23	69							1	6	20	56
Najmanji broj dana													1
Dan sa Tmax ≥ 25°C (летњи дани)													
Sredina			0,1	2,2	10,7	17,9	24,0	22,7	13,4	3,6	0,0		94,6 (94.6)
Najveći broj dana			4	13	24	27	31	31	25	15	2		133 (134)
Najmanji broj dana						8	12	10					66
Dan sa Tmax ≥ 30°C (тропски дани)													
Sredina			0,0	0,0	1,5	5,0	10,8	10,1	3,2	0,2			30,8
Najveći broj dana			1	1	9	16	26	24	14	6			62
Najmanji broj dana							1						7
Dan sa Tmin ≥ 20°C (тропске ноћи)													
Sredina				0,0	0,1	1,1	3,0	2,5	0,1				6,8
Najveći brpj dana				1	3	7	13	14	3				30
Najmanji broj dana													
Dan sa Tx ≥ 35°C													
Sredina						0,2	1,7	2,4	0,2				4,5
Najveći broj dana						3	8	13	4				22
Najmanji broj dana													

Poslednji mraz $T_n < 0°$		
Srednji datum: 26. III	najraniji: 16. II 1989. (1936.)	najkasniji: 3. V 1935.
Prvi mraz $T_n < 0°$		
Srednji datum: 5. XI	najraniji: 13. X (28. IX 1906.)	najkasniji: 27. XII 1960.
Trajanje bezmraznog perioda		
Prosečno 224 dana	najduže 291 dan (1990.)	najkraće 180 dana
Poslednji dan sa $T_n < -4°$		
Srednji datum: 3. III	najraniji: 15.I	najkasniji: 15. IV
Prvi dan sa $T_n < -4°$		
Srednji datum: 4. XII	najraniji: 26. X	najkasniji: 22. I
Trajanje perioda bez $T_n < -4°$		
Prosečno 276 dana	najduže 355 dana	najkraće 233 dana
Prvi letnji dan $T_x \geq 25°$		
Srednji datum: 16. IV	najraniji: 7. III 1920.	najkasniji: 27. V 1980.
Poslednji letnji dan $T_x \geq 25°$		
Srednji datum: 11. X	najraniji: 5. IX 1971.	najkasniji:16. XI 1963.
Trajanje perioda izmedju prvog i poslednjeg letnjeg dana		
Prosečno 178 dana	najduže 222 dana	najkraće 118 dana

Tabela 40. Prosečne i ekstremne mesečne i godišnje vrednosti vazdušnog pritiska (mb) za period 1888. - 1991. godine

	MESECI												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
Prosečni srednjak													
mb	1003.7	1001.9	1000.0	997.9	998.6	999.2	999.2	999.9	1002.3	1002.8	1002.9	1002.8	1000.9
Najveći srednjak													
mb	1016.9	1017.4	1010.9	1005.9	1003.9	1002.6	1002.6	1002.9	1007.5	1007.7	1012.5	1015.1	1003.8
Godina	1989	1891	1953	1947	1888	1945	1911	1973	1890	1985	1977	1972	1921
Najmanji srednjak													
mb	989.9	991.3	992.2	992.7	992.9	995.7	996.2	996.7	997.0	996.2	996.1	990.4	998.5
Godina	1915	1955	1916	1930	1897	1969	1913	1937	1984	1974	1910	1981	1915
Razlika	26.4	26.1	18.7	13.2	11	6.9	6.4	6.2	10.5	11.5	16.4	24.7	5.3
Srednjak najvećih terminskih vrednosti													
mb	1019.4	1016.6	1014.3	1009.7	1007.7	1007.4	1006.5	1007.6	1011.6	1014.0	1017.1	1018.0	1012.5
Srednjak najmanjih terminskih vrednosti													
mb	983.3	982.7	983.3	983.2	987.1	989.6	989.8	989.4	991.2	988.0	984.2	982.8	986.2
Razlika	36.1	33.9	31	31	26.5	20.6	17.8	16.7	18.2	20.4	26	32.9	26.3
Najveća terminska vrednost													
mb	1037.0	1031.0	1024.6	1018.7	1017.9	1012.6	1016.7	1013.0	1019.3	1023.5	1028.2	1031.8	1037.0
Dan	24	13.14	2	18	3	29	20	14	23	26	21	24	24. I
Godina	1907	1959	1948	1929	1914	1961	1920	1920	1887	1946	1889	1963	1907
Najmanja terminska vrednost													
mb	939.7	965.8	967.0	973.5	971.1	979.4	983.9	982.9	980.3	973.3	967.1	957.9	957.9
Dan	7	9	8	2	17	27	7	22	26	26	14	2	2. XII
Godina	1912	1889	1917	1897	1895	1958	1900	1940	1896	1890	1905	1976	1976
Razlika	67.3	65.2	57.6	45.2	46.8	33.2	32.8	30.1	39.0	50.2	61.1	73.9	79.1

Tabela 41. Sredn je mesečne čestine pravaca vetra i tišina (%o) u Beogradu za period1888. - 1991. godina

	SMER VETRA																
Meseci	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	C
I	33	18	12	12	31	131	158	53	29	18	25	60	91	63	60	28	178
II	33	23	14	14	34	137	165	52	30	15	27	50	92	65	66	34	149
III	39	2	13	12	30	155	168	58	37	19	28	39	84	51	73	35	137
IV	40	28	20	13	37	114	144	54	36	26	32	55	81	57	74	39	150
V	39	29	23	14	24	92	130	48	30	21	35	62	100	55	72	38	188
VI	44	31	19	13	21	63	87	39	31	24	44	68	120	73	82	41	200
VII	43	25	20	10	26	50	78	37	25	17	38	68	123	90	90	45	215
VIII	42	26	22	15	31	75	116	86	18	13	31	56	101	69	79	44	226
IX	34	23	19	15	39	104	150	54	25	15	23	51	83	56	58	35	216
X	26	23	18	11	45	141	186	62	30	16	20	43	70	40	52	30	185
XI	31	23	14	11	42	144	189	69	26	17	21	43	76	48	47	22	176
XII	32	19	14	14	38	144	174	54	25	16	25	52	86	57	51	22	177
God.	36	24	17	18	33	112	145	51	28	18	29	54	92	60	67	34	183

Tabela 42. Sredn je mesečne brzine vetra (m/s) u Beogradu za period 1888. - 1991. godina

	SMER VETRA															
Meseci	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
I	2,7	2,0	1,8	2,2	3,1	5,0	4,1	2,9	2,4	1,7	1,5	2,2	2,2	2,5	2,7	3,1
II	2,2	2,4	1,8	2,5	3,1	5,5	4,6	4,1	2,5	2,0	1,7	2,2	2,2	2,9	3,5	2,9
III	2,9	2,5	1,8	2,2	2,5	5,9	4,8	3,5	2,5	2,4	2,0	2,4	2,5	2,9	3,1	3,3
IV	2,7	2,7	2,0	2,4	3,1	5,5	4,6	3,3	2,4	2,2	2,2	2,7	2,9	3,3	3,1	3,3
V	2,6	2,7	2,2	2,2	2,4	4,1	3,3	2,9	2,2	2,0	2,2	2,4	2,5	2,5	2,7	2,7
VI	2,5	2,4	2,0	1,8	2,0	2,9	2,7	2,4	2	2,0	2,0	2,5	2,7	3,1	2,7	2,7
VII	2,5	2,2	1,8	1,7	2,2	2,5	2,5	2,4	1,7	1,5	1,8	2,4	2,5	2,7	2,7	2,9
VIII	2,4	2,4	1,7	1,7	2,4	2,9	2,9	2,4	1,7	1,7	1,8	2,2	2,4	2,7	2,7	2,5
IX	2,4	2,4	1,7	2	2,4	3,5	3,3	2,9	2,0	1,7	2,0	2,0	2,4	2,4	2,7	2,7
X	2,5	2,2	1,7	1,5	3,1	4,6	4,1	2,9	2,0	2,0	1,7	1,8	2,2	2,4	2,5	2,7
XI	2,2	2,4	2,0	3,7	2,9	5,5	4,3	3,3	2,7	2,0	1,8	2,2	2,5	2,4	2,4	2,7
XII	2,5	2,0	1,8	2,0	2,9	5,2	4,3	3,5	2,5	1,8	1,5	2,4	2,2	2,5	2,7	2,9
God.	2,5	2,4	1,9	2,2	2,7	4,4	3,4	3	2,2	1,9	1,8	2,3	2,4	2,7	2,8	2,9

Tabela 43. Broj dana sa padavinama i intenzitet padavina, Beograd 1888. - 1985. godine

(Rezultati osmatranja na Meteorološkoj opservatoriji u Beogradu (1887. -1986.)

	MESECI												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
>= 0.1 mm													
Srednji	13.0	11.5	11.6	12.8	13.2	13.2	10.0	9.1	8.8	10.0	12.3	13.5	139.0
Najveći	21	20	22	23	26	20	18	19	19	24	25	25	182
Najmanji	4	1	1	6	4	6	2	3	2		3	3	105
>= 1.0 mm													
Srednji	7.8	7.3	7.5	8.7	9.6	9.7	7.2	6.5	6.0	6.7	8.1	8.6	93.9
Najveći	15	17	17	18	19	17	16	17	12	21	19	20	125
Najmanji	1		1	2	2	3	1	1	1		1		70
>= 2.5 mm													
Srednji	4.9	4.6	5.1	6.2	6.9	7.2	5.6	4.9	4.4	5.1	5.7	5.7	66.3
Najveći	12	12	15	14	15	14	12	13	11	18	16	18	94
Najmanji				1	1	1							47
>= 5. 0 mm													
Srednji	2.9	2.6	2.9	3.8	4.4	4.9	4.4	3.9	2.9	3.6	3.6	3.6	43.6
Najveći	10	8	10	9	12	10	11	13	9	11	9	11	63
Najmanji													20
>= 10.0 mm													
Srednji	1.1	1.0	1.1	1.7	2.1	2.7	2.1	1.6	1.4	1.7	1.6	1.3	19.5
Najveći	5	8	5	5	7	8	7	6	7	8	5	6	35
Najmanji													
>= 20.0 mm													
Srednji	0.1	0.1	0.2	0.4	0.6	1.0	0.6	0.7	0.5	0.4	0.3	0.2	5.3
Najveći	2	2	4	2	3	4	3	4	3	4	2	2	13
Najmanji													
>= 50.0 mm													
Srednji				0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0				0.3
Najveći				1	1	1	1	1	1				2
Najmanji													
Intenzitet pada	3.3	3.4	3.8	4.6	5.4	6.4	6.2	6.0	5.4	5.3	4.4	3.8	4.8

Tabela 44. Sezonske količine padavina (mm) u Beogradu u periodu 1887. - 1991. godina

Godina	ZIMA (XII - II)	God.	PROLEĆE (III - V)	LETO (VI - VIII)	JESEN (IX - XI)
		1887			235,0
1887/88	162,1	1888	229,5	147,5	135,9
88/89	112,4	89	255,6	185,7	231,1
89/90	74,5	90	146,4	299,6	180,5
1890/91	78,9	91	177,8	216,8	123,4
91/92	79,3	92	274,5	188,3	155,2
92/93	89,5	93	130,6	238,6	180,3
93/94	67,3	94	99,0	157,3	105,7
94/95	192,8	95	153,6	189,3	196,9
95/96	84,9	96	139,3	266,0	217,7
96/97	140,0	97	302,0	205,0	161,6
97/98	75,1	98	167,7	172,0	59,7
98/99	78,0	99	200,5	175,0	107,0
99/100	129,3	1900	302,3	338,4	90,9
1900/01	141,2	1901	129,2	298,6	163,7
01/02	121,2	2	168,5	149,0	126,8
02/03	88,7	3	187,8	188,1	155,4
03/04	91,2	4	89,8	159,6	134,7
04/05	94,1	5	165,7	193,6	271,1
05/06	62,5	6	159,6	150,9	125,5
06/07	122,8	7	102,6	88,4	43,8
07/08	159,4	8	122,8	165,0	82,3
08/09	85,1	9 .	187,6	135,3	172,2
09/10	172,6	1910	175,0	286,3	220,9
1910/11	80,8	11	141,1	102,0	101,7
11/12	137,9	12	265,3	184,5	267,9
12/13	109,6	13	166,8	322,0	131,9
13/14	84,7	14	238,1	246,8	157,6
14/15	127,0	15	236,1	240,7	237,4
15/16	76,2	16	206,3	112,9	180,1
16/17	147,8	17	126,9	86,7	97,6
17/18	96,3	18	96,9	114,4	179,1
18/19	143,9	19	301,1	235,7	213,2
19/20	148,6	1920	161,6	155,2	50,1
1920/21	65,3	21	83,0	299,7	174,7
21/22	129,0	22	174,1	86,5	295,9
22/23	56,9	23	79,9	102,2	115,7
23/24	176,3	24	234,8	296,7	137,9
24/25	56,6	25	150,0	218,3	250,2
25/26	174,3	26	175,5	352,3	42,2
26/27	117,5	27	215,6	130,9	174,9
27/28	162,2	28	119,2	35,8	169,2
28/29	113,3	29	179,7	232,1	95,5
29/30	88,0	1930	111,2	149,3	113,9
1930/31	165,3	31	112,6	153,1	336,3
31/32	88,5	32	243,7	160,2	200,5
32/33	119,8	33	279,5	199,8	118,5
33/34	112,4	34	96,7	278,5	184,3
34/35	177,4	35	159,5	84,3	71,7
35/36	185,5	36	130,1	230,4	167,5
36/37	113,1	37	315,3	309,4	172,3
37/38	153,8	38	161,8	216,7	139,4
38/39	160,0	39	207,7	261,8	176,7
39/40	154,2	1940	210,5	308,5	161,7
1940/41	212,9	41	158,4	201,2	273,0
41/42	198,1	42	212,4	182,8	173,0
42/43	104,1	43	108,2	174,4	99,2
43/44	187,1	44	156,0	147,8	249,5

Godina	ZIMA (XII - II)	God.	PROLEĆE (III - V)	LETO (VI - VIII)	JESEN (IX - XI)
44/45	118,7	45	72,4	187,3	200,5
45/46	205,2	46	134,0	104,8	211,7
46/47	203,4	47	152,0	164,3	51,9
47/48	158,3	48	148,6	239,1	199,6
48/49	64,2	49	290,7	285,1	95,4
49/50	117,6	1950	92,3	108,4	190,8
1950/51	124,7	51	170,1	262,1	179,5
51/52	124,7	52	137,8	180,5	246,6
52/53	209,2	53	122,8	377,5	40,2
53/54	130,9	54	275,6	261,3	234,8
54/55	196,7	55	188,4	282,9	197,7
55/56	171,5	56	185,7	258,4	90,4
56/57	137,8	57	182,9	212,4	121,7
57/58	116,2	58	203,7	110,0	137,2
58/59	143,4	59	155,6	198,5	118,7
59/60	108,4	1960	104,3	186,3	151,3
1960/61	113,8	61	215,9	76,5	50,5
61/62	230,9	62	187,5	87,8	100,6
62/63	207,7	63	117,9	109,1	84,6
63/64	115,5	64	185,3	148,6	263,0
64/65	206,9	65	132,7	193,4	126,0
65/66	207,8	66	151,6	209,8	110,7
66/67	129,8	67	238,5	137,8	188,1
67/68	250,1	68	92,0	230,9	148,3
68/69	183,5	69	86,9	341,4	77,5
69/70	322,3	1970	243,1	264,0	136,5
1970/71	105,2	71	228,6	238,6	134,8
71/72	45,9	72	144,4	294,3	245,9
72/73	47,4	73	171,6	168,1	132,6
73/74	79,0	74	147,8	275,5	346,7
74/75	124,7	75	211,6	373,1	123,7
75/76	122,0	76	146,4	175,0	154,6
76/77	171,5	77	181,3	216,3	163,1
77/78	233,3	78	210,3	235,0	142,7
78/79	189,7	79	167,1	227,8	103,8
79/80	165,7	1980	281,7	231,9	203,5
1980/81	153,0	81	254,1	208,2	241,9
81/82	134,2	82	141,7	283,9	130,7
82/83	128,0	83	119,5	170,2	134,0
83/84	177,2	84	158,6	166,7	127,8
84/85	113,4	85	148,0	309,5	107,2
85/86	157,7	86	248,0	173,1	49,9
86/87	130,7	87	300,2	223,9	129,1
87/88	152,0	88	159,2	117,0	129,5
88/89	48,2	89	205,3	221,6	173,1
89/90	68,5	1990	91,9	142,6	120,8
1990/91	121,9	91	229,7	263,0	172,7
MAX	1969/1970 322,3		1937 315,3	1953 377,5	1974 346,7
MIN	1971/1972 45,9		1921 33,0	1928 35,8	1953 40,2

Tabela 45. Broj dana sa snegom ≥0.1 mm u Beogradu (1887./88. - 1991./92. godina

Godina	X	XI	XII	I	II	III	IV	Ukupno
1888/89		4	1	10	14	11		4
89/90		3	12	4	9	6		34
1890/91		2	15	15	5	4		42
91/92	0	4		10	4	5		23
92/93		1	11	16	5	7		41
93/94		1	9	1	3	1		15
94/95		7	11	11	16	4		60
95/96		3	6	10	6			29
96/97		3	6	12	6	1		33
97/98	2	3	5	2	10	1		23
98/99			1	3	5	8		17
99/100			8	6		6		20
1900/01			4	11	9			24
01/02		5	1	2	1	3		12
02/03		1	9	11	1			22
03/04								
04/05								
05/06								
06/07								
07/08	4	1		5	5	2		15
08/09		7	3	8	13			37
09/10		3	2	6	5			16
1910/11		4	2	7	5	1		20
11/12			5	11	3			25
12/13		5	3	7	5			23
13/14			5	15	1	2		23
14/15								
15/16								
16/17		2		11	6	4		23
17/18			10	1	5	1		17
18/19								
19/20								
1920/21		3	4	3	4			14
21/22		4	7	8	6			25
22/23		5	3	7	8	2		25
23/24			11	8	13	7		39
24/25		7	3	1	1	6		18
25/26		6	10	6	2	3		27
26/27			5	4	6			15
27/28		1	8	4	2	1		16
28/29			6	10	8	4		32
29/30			6	1	2			9
1930/31		1	9	9	8	8		35
31/32		3	9	2	14	15		44
32/33			1	11	5	5		22
33/34			16	10	6			34
34/35			2	19	12	6		39
35/36			6	2	3			11
36/37			5	8	4			.17
37/38		1	5	5	2	2		18
38/39			132	3	2	7		25
39/40			7	13	7	11		39

Godina	X	XI	XII	I	II	III	IV	Ukupno
1940/41			16	7	6	3		36
41/42	1	2	12	13	7	6		42
42/43		7	5	13	1			27
43/44		1	4	6	14	12		38
44/45		1	3	11	1	7		23
45/46			9	7	11	2		29
46/47	1	2	6	20	11	2		42
47/48		1	9	1	6	2		19
48/49		4	1	6	2	6		19
49/50		1	2	9	5			17
1950/51		1	4	2	1	5		13
51/52			2	9	13	5		32
52/53		1	8	11	22	2	1	45
53/54			5	13	13	2		33
54/55		4	2	8	10	13		42
55/56	1	4	2	8	17	10		44
56/57		9	12	7	1	1		31
57/58		1	10	7	4	12		37
58/59		1	3	8	7	3		22
59/60			3	13	1	1		18
1960/61			2	5	4			11
61/62			13	8	10	13		44
62/63		7	10	17	14	2		52
63/64			6	9	6	6		27
64/65		1	6	10	13	1		31
65/66		3	7	17		5		32
66/67	1	2	11	7	2	1		24
67/68			11	16	4	4		36
68/69		3	6	7	12	9		38
69/70		1	25	8	16	3		53
1970/71			9	8	6	10		33
71/72		7	3	1	3	1		15
72/73	3	4	1	5	7	8		28
73/74		2	5	2		5		14
74/75	2	1	5	4	4	3		19
75/76		6	3	10	6	7		33
76/77		2	5	5	3	2		18
77/78		4	8	2	14	2		30
78/79		3	4	11	1			19
79/80		1	2	12	2	4		22
1980/81		6	12	15	7	2		44
81/82		5	12	9	8			34
82/83		1	6	5	6	2		20
83/84		2	7	12	9	8		38
84/85			13	12	3	2		35
85/86		5	1	9	13	6		37
86/87			5	15	2	5		28
87/88			4	4	4	7		23
88/89		7		4	4			18
89/90		2	4	5	2			13
1990/91			11	6	7			24
91/92		1	10	7	7	1		28

Tabela 46. Prvi i poslednji dan sa snegom ≥ 0.1 mm u Beogradu (1888./89. - 1991./92. godina)

ZIMA	PRVI	POSLEDNJI	ZIMA	PRVI	POSLEDNJI	ZIMA	PRVI	POSLEDNJI	ZIMA	PRVI	POSLEDNJI
1888/89	5.11	4.4	17/18	3.12	14.3	46/47	24.12	9.3	75/76	23.11	29.4
89/90	11.11	6.3	18/19			47/48	17.11	26.3	76/77	24.11	3.3
1890/91	19.11	1.4	19/20		13.3	48/49	25.11	21.3	77/78	23.11	12.3
91/92	2.11	13.3	1920/21	21.11	19.2	49/50	3.11	28.2	78/79	28.11	26.2
92/93	25.11	14.4	21/22	8.11	20.2	1950/51	6.11	11.3	79/80	29.12	5.4
93/94	25.11	25.3	22/23	19.11	17.3	51/52	10.11	5.4	1980/81	2.11	19.4
94/95	13.11	5.4	23/24	16.12	12.3	52/53	12.11	11.5	81/82	9.11	15.3
95/96	22.11	8.4	24/25	15.11	18.3	53/54	22.12	8.3	82/83	25.12	27.3
96/97	22.11	10.3	25/26	23.11	25.3	54/55	17.11	19.4	83/84	15.11	23.2
97/98	7.1	3.3	26/27	8.12	18.2	55/56	29.1	7.4	84/85	23.12	11.3
98/99	22.12	26.3	27/28	15.11	15.3	56/57	4.11	14.4	85/86	17.11	14.4
99/100	3.12	15.3	28/29	4.12	7.4	57/58	30.11	9.4	86/87	20.12	16.3
1900/01	2.12	22.2	29/30	18.12	19.2	58/59	27.11	14.3	87/88	8.12	16.4
01/02	24.11	31.3	1930/31	17.11	27.3	59/60	14.12	5.3	88/89	1.11	15.2
02/03	27.11	15.2	31/32	1.11	9.4	1960/61	23.12	8.2	89/90	23.11	17.2
03/04	27.12		32/33	8.12	25.3	61/62	7.12	27.3	1990/91	1.12	16.2
04/05		8.4	33/34	1.12	3.4	62/63	16.11	3.4	91/92	18.11	21.2
05/06	26.1		34/35	23.12	31.3	63/64	6.12	19.3			
06/07		10.4	35/36	6.12	10.2	64/65	4.12	8.3			
07/08	23.11	2.4	36/37	1.12	23.2	65/66	15.11	26.3			
08/09	19.1	3.4	37/38	15.11	20.4	66/67	28.11	20.3			
09/10	19.11	13.2	38/39	7.12	21.3	67/68	7.12	9.4			
1910/11	12.11	9.4	39/40	8.12	8.4	68/69	15.11	24.4			
11/12	3.12	15.4	1940/41	1.12	12.4	69/70	27.11	2.3			
12/13	6.11	16.4	41/42	13.1	14.4	1970/71	16.12	12.3			
13/14	15.2	12.3	42/43	10.11	2.4	71/72	31.1	12.3			
14/15			43/44	9.11	1.4	72/73	22.1	14.3			
15/16		20.2	44/45	10.11	11.3	73/74	16.11	11.3			
16/17	16.11	16.3	45/46	4.12	18.3	74/75	30.1	23.3			

Tabela 47. Broj dana sa snežnim pokrivačem i visinom snežnog pokrivača (cm) u Beogradu (1888. - 1991. godina)

	MESECI												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
Broj dana sa snežnim pokrivačem													
Srednji	14,5	11,0	3,4	0,1						0,1	1,8	7,9	39,1
Najveći	31	28/29	24	2						4	14	31	91
Najmanji													1
Najviši dnevni maksimum visine snežnog pokrivača													
cm	61	80	44	5						16	37	65	80
Dan	16	3	17	20						28	30	2,5	3.II
Godina	1935	1962	1962	1938						1905	1921	1921	1962
Sredina dnevnog maksimuma visina snežnog pokrivača													
cm	17.6	15.8	6.5	0.2						0.3	2.8	14.3	(27)
Broj dana sa visinom snežnog pokrivača >= 10 cm													
Srednji	6,2	5,4	1,2							0,0	0,3	3,7	16,3
Najveći	31	28	12							1	8	28	55
Najmanji													
Broj dana sa visinom snežnog pokrivača >= 30 cm													
Srednji	1,1	1,9	0,1								0,0	0,8	3,9
Najveći	17	24	2								1	14	36
Najmanji													
Broj dana sa visinom snežnog pokrivača >= 50 cm													
Srednji	0,1	0,2										0,0	0,3
Najveći	8	6										6	14
Najmanji													

Srednji datum prvog snežnog pokrivača: 3. XII
Najraniji datum prvog snežnog pokrivača: 20. X 1908.
Najkasniji datum prvog snežnog pokrivača: 19. I 1951.
Srednji datum poslednjeg snežnog pokrivača: 5. III
Najraniji datum poslednjeg snežnog pokrivača: 12. X|1912. (?)
Najkasniji datum poslednjeg snežnog pokrivača: 21. IV 1938.

Tabela 48. Početak i kraj snežnog pokrivača trajanja tri i više dana u toku zime u Beogradu (1890./91. - 1991./92. godine

ZIMA	POČETAK	KRAJ	ZIMA	POČETAK	KRAJ	ZIMA	POČETAK	KRAJ	ZIMA	POČETAK	KRAJ
1890/91	11.2	8.3	19/20			48/49	27.11	25.3	77/78	1.12	25.2
91/92			1920/21	14.12	10.2	49/50	13.12	10.2	78/79	30.11	23.1
92/93			21/22	11.11	20.2	1950/51			79/80	1.1	30.1
93/94			22/23	25.11	17.2	51/52	14.11	9.3	1980/81	1.12	31.1
94/95	15.12	9.3	23/24	21.12	16.3	52/53	5.12	22.2	81/82	29.11	26.2
95/96	7.12	2.2	24/25	17.11	20.3	53/54	23.12	28.2	82/83	26.12	22.2
96/97	27.11	12.2	25/26	29.11	21.12	54/55	18.11	6.3	83/84	2.12	25.2
97/98	4.2	20.2	26/27	25.12	29.12	55/56	1.1	20.3	84/85	24.12	4.3
98/99	23.12	29.3	27/28	14.12	6.1	56/57	20.11	30.1	85/86	17.11	7.3
99/100	8.12	10.3	28/29	17.12	12.3	57/58	30.11	26.3	86/87	4.1	13.3
1900/01	7.1	3.3	29/30	19.12	24.12	58/59	16.1	24.2	87/88	9.12	11.3
01/02	25.11	3.12	1930/31	23.12	14.3	59/60	6.1	29.1	88/89	22.11	19.12
02/03	5.12	28.1	31/32	1.12	29.3	1960/61	12.1	5.2	89/90	28.12	18.1
03/04	29.12	29.2	32/33	8.1	25.3	61/62	15.12	29.3	1990/91	2.12	14.2
04/05	28.11	23.2	33/34	8.12	8.2	62/63	24.11	2.3	91/92	21.12	23.2
05/06	27.12	14.2	34/35	11.1	6.3	63/64	12.12	20.3			
06/07	13.12	17.3	35/36	22.12	15.2	64/65	4.12	3.3			
07/08	5.1	22.2	36/37	13.1	30.1	65/66	10.1	7.2			
08/09	21.11	8.3	37/38	29.12	16.2	66/67	29.11	25.1			
09/10	22.11	14.2	38/39	16.12	22.3	67/68	9.12	2.2			
1910/11	23.11	12.2	39/40	27.12	13.3	68/69	10.12	6.2			
11/12	29.1	6.2	1940/41	13.12	12.2	69/70	3.12	23.2			
12/13	8.11	12.11	41/42	14.11	11.3	1970/71	23.12	14.3			
13/14	8.12	20.2	42/43	18.11	5.2	71/72	1.11	22.11			
14/15			43/44	6.1	29.3	72/73	5.1	1.3			
15/16			44/45	23.12	16.2	73/74	27.11	8.1			
16/17	7.1	7.3	45/46	5.12	27.2	74/75	15.12	6.2			
17/18	3.11	22.2	46/47	25.1	1.3	75/76	23.11	14.3			
18/19			47/48	11.12	20.2	76/77	30.12	4.2			

Tabela 49. Čestine sušnih perioda odredjenog trajanja u Beogradu (1888. - 1991. godina)

	MESECI											
Dan	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
5	25	15	15	23	23	27	36	18	26	15	18	22
6	13	19	16	14	23	11	29	16	13	14	17	15
7	12	11	15	14	15	12	6	15	10	8	8	9
8	11	9	4	9	10	12	10	10	5	8	8	7
9	9	6	3	8	3	6	14	16	8	6	12	9
10	9	8	6	3	6	3	4	10	7	4	2	10
11	8	8	3	6	6	2	4	9	6	5	4	9
12	7	6	4	4	6	2	3	5	5	4	4	1
13	4	4	4	5	2	3	7	7	7	10	7	1
14	1	2	5	2	2	1	7	3		2	2	3
15		3	4				3	5	7	5	1	2
16	2	4	2		1	1		3	1	4	1	2
17	2	2	1		3		1	2	5	2	1	
18		3	2	1		2	1	1	2		1	3
19	1			1	1	1	2	1	2	2		1
20	1	1	1		2			2	3	2		
21							1	2	2	1	1	1
22		1	1				1	1	3	1	1	
23	1							1	3	4		
24		1	2				1		3	4		
25			1	1				1	1	1		
26			1			1	1	1	1	1		1
27							1		1			
28			1								1	
29	1		1								1	
30												
>30	1	1	4						2	1	3	1

Najduže trajanje u danima

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
34	39	35	29	20	26	27	26	44	31	46	53

Srednje trajanje u danima

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
9	9.8	11.2	8.6	8.2	7.9	8.7	9.9	11.6	11.5	10.2	9.3